



ÍNDEX MEMÒRIA

ÍNDEX MEMÒRIA.....	1
ÍNDEX FIGURES I TAULES	3
1.- OBJECTE DEL PROJECTE.....	5
2.- MOTIVACIONS	5
3.- ABAST.....	5
4.- NORMES I REFERÈNCIES	6
4.1.- DISPOSICIONS LEGALS I NORMES APLICADES.	6
4.2.- BIBLIOGRAFIA.	8
<i>Llibres</i>	8
<i>Pàgines web</i>	8
<i>Articles en revistes indexades</i>	9
<i>Altres articles</i>	12
4.3.- PROGRAMES DE CàLCUL. MÈTODE.	14
4.3.1.- METODOLOGIA – ANÀLISI DE CICLE DE VIDA.	14
4.3.1.1.- <i>Historia.</i>	14
4.3.1.2.- <i>Introducció.</i>	14
4.3.1.3.- <i>Aplicacions de l'Anàlisi de Cicle de Vida.</i>	21
4.3.2.- ECO-INDICADOR 99	21
4.3.3.- ESTAT DE L'ART	25
5.- DEFINICIONS I ABREVIATURES.....	30
6.- REQUERIMENTS.....	31
6.1.- MATERIALS.	31
6.1.1.- CUBICLE GR – 40: CUBICLE AMB COBERTA PLANA ACABAT AMB GRAVA I FAÇANA VERDA.	35
6.1.2.- CUBICLE WTR – 35: CUBICLE AMB COBERTA VEGETADA AMB CAUTXÚ.	40
6.1.3.- CUBICLE VGR – 30: CUBICLE AMB COBERTA VEGETADA AMB PUTZOLANA.	47
6.1.4.- CUBICLE RR – 210: CUBICLE AMB SOSTRE DE REFERÈNCIA.	50
7.- RESULTATS – ANÀLISI DE CICLE DE VIDA.....	54
7.1.- DEFINICIÓ D'OBJECTIUS I ABAST.	54
7.2.- ANÀLISI DE L'INVENTARI.	55
7.3.- AVALUACIÓ DE L'IMPACTE.	57



7.4.- INTERPRETACIÓ I RESULTATS.....	58
7.4.1.- RESULTATS GENERALS DE L'INVENTARI DE CICLE DE VIDA.....	58
7.4.2.- INVENTARI DE CICLE DE VIDA EN LA FASE DE FABRICACIÓ.....	61
7.4.3.- INVENTARI DE CICLE DE VIDA EN LA FASE OPERATIVA.....	63
7.4.4.- INVENTARI DE CICLE DE VIDA EN LA FASE D'ELIMINACIÓ.....	67
8.- CONCLUSIONS.....	69



ÍNDEX FIGURES I TAULES DE MEMÒRIA

<i>Figura 1. Procés del cicle de vida d'un producte, bé o servei.</i>	15
<i>Figura 2. Etapes d'un anàlisi de cicle de vida i aplicacions.</i>	16
<i>Figura 3. Diagrama de flux de l'inventari de cicle de vida.</i>	17
<i>Taula 1. Avantatges i inconvenients dels diferents tipus de dades.</i>	18
<i>Taula 2. Bases de dades comercials.</i>	18
<i>Figura 4. Elements obligatoris i opcionals de l'LCIA, conforme a la ISO 14042.</i>	20
<i>Figura 5. Esquema de les relacions entre intervencions ambientals, impactes d'efectes intermitjos "midpoints", impactes d'efectes finals "endpoints" i àrees de protecció.</i>	22
<i>Taula 3. Categories i subcategories de dany en el mètode d'avaluació d'impacte de l'Eco-Indicator99.</i>	23
<i>Figura 6. Sistema informàtic instal·lat a una caseta de la parcel·la de Puigverd de Lleida per la recollida de dades.</i>	34
<i>Figura 7. Detall constructiu del cubicle amb sostre de grava.</i>	36
<i>Figura 8. Cubicle experimental amb una façana verda.</i>	37
<i>Taula 4. Inventari de materials de sostre per l'ACV del Gravel Roof Cubicle – GR (40).</i>	38
<i>Taula 5. Inventari de materials de façana per l'ACV de cada cubicle.</i>	39
<i>Figura 9. Detall constructiu del cubicle amb coberta vegetada.</i>	41
<i>Figura 10. Sostres experimentals amb un 20-25 % cobert per les plantes.</i>	42
<i>Figura 11. Capa de drenatge utilitzat en els sostres verds, vista de la capa de drenatge de cautxú i vista de goma de Ø 2-3,5 mm.</i>	43
<i>Figura 12. Membrana asfàltica de la coberta vegetada.</i>	44
<i>Figura 13. Muntatge experimental de Puigverd de Lleida, Espanya. De dreta a esquerra: cubicle de cautxú, putzolana, i grava.</i>	44



<i>Taula 6. Inventari de materials de coberta per l'ACV del Green Waste Tires Roof Cubicle – WTR (35).</i>	45
<i>Figura 14. Capa de drenatge utilitzat en els sostres verds, vista de la capa de drenatge de putzolana i vista de grava putzolana.</i>	47
<i>Taula 7. Inventari de materials de coberta per l'ACV del Green Volcanic Gravel Roof Cubicle – VGR (30).</i>	49
<i>Figura 15. Casa cubicle situat a Puigverd de Lleida, Espanya.</i>	50
<i>Figura 16. Detall constructiu del cubicle amb sostre de referència.</i>	51
<i>Taula 8. Inventari de materials de coberta per l'ACV del Reference Roof Cubicle – RR (210).</i>	52
<i>Taula 9. Inventari de la llista dels components utilitzats en la construcció dels cubicles, distingint entre les cobertes i façanes, i el nom corresponent a la base de dades EcoInvent99 per a les fases de fabricació i eliminació.</i>	57
<i>Taula 10. Resultats d'impacte durant les fases de fabricació, funcionament, i d'eliminació.</i>	58
<i>Gràfica 1. Representació dels punts d'impacte de les tres categories de dany considerades en les tres fases de cicle de vida.</i>	59
<i>Taula 11. Resultats d'impacte durant la fase de fabricació.</i>	61
<i>Gràfica 2. Representació dels punts d'impacte de les tres categories de dany considerades en la fase de fabricació.</i>	62
<i>Taula 12. Consum d'energia elèctrica per a cada cubicle (unitats: kWh).</i>	63
<i>Taula 13. Resultats d'impacte durant la fase de funcionament.</i>	64
<i>Gràfica 3. Representació dels punts d'impacte de les tres categories de dany considerades en la fase de funcionament.</i>	65
<i>Taula 14. Resultats d'impacte durant la fase d'eliminació.</i>	67
<i>Gràfica 4. Representació dels punts d'impacte de les tres categories de dany considerades en la fase d'eliminació.</i>	68



MEMÒRIA

1.- OBJECTE DEL PROJECTE

És l'objecte del present projecte la comparació de quatre construccions existents a la localitat de Puigverd de Lleida, província de Lleida, Espanya, amb el clima sec continental mediterrani.

La situació exacta de la finca és: partida '3 Pedres', polígon 7 i parcel·la 59.

Les quatre construccions tenen les mateixes dimensions interiors i idèntiques solucions constructives en façana però amb solucions diferents en coberta, dos d'elles amb coberta enjardinada amb diferent tipus de drenatge, el tercer amb una coberta plana convencional no transitable i el quart amb una solució constructiva considerada com a referència per tal de comparar-los i per tal de determinar quins d'ells és més eficaç, té un major estalvi energètic i un menor impacte mediambiental.

2.- MOTIVACIONS

La justificació d'aquest projecte és la definició de noves solucions constructives amb l'objectiu de construir edificis més sostenibles i ecològics.

Les cobertes verdes ofereixen interessants avantatges sobre les solucions tradicionals, com per exemple, la millora de l'entorn urbà i de la durabilitat dels materials d'impermeabilització, el suport a la biodiversitat, i l'estalvi d'energia de l'edifici.

3.- ABAST

El present projecte abasteix un estudi d'investigació d'Anàlisi de Cicle de Vida de quatre cubicles reals, ja existents en la localitat de Puigverd de Lleida. Es pretén estudiar els avantatges mediambientals i energètics de les solucions de cobertes vegetades respecte a la coberta convencional per mitjà de l'Anàlisi de Cicle de Vida.

El projecte presenta la representació gràfica detallada i un inventari de tots els materials que componen la construcció de cadascun dels cubicles estudiats, i els càlculs i resultats de l'Anàlisi de Cicle de Vida.



4.- NORMES I REFERÈNCIES

4.1.- DISPOSICIONS LEGALS I NORMES APLICADES.

A continuació, es contemplarà el conjunt de disposicions legals i les normes de no obligatori compliment que s'han tingut en compte per la realització del present projecte.

UNE 157001:2002 - Criterios generales para la elaboración de proyectos.

UNE-EN ISO 9000 - Sistemas de Gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario (ISO 9000: 2000).

UNE 1027:1995 - Dibujos técnicos. Plegado de planos.

UNE 1032-1982 - Dibujos técnicos. Principios generales de representación.

UNE 1035-1995 - Dibujos técnicos. Cuadro de rotulación.

UNE 1039-1994 - Dibujos técnicos. Acotación. Principios generales, definiciones, métodos de ejecución e indicaciones especiales.

UNE 1089-1:1995 - Principios generales para la creación de símbolos gráficos. Parte 1: Símbolos gráficos colocados sobre equipos.

UNE 1089-2:1990 - Principios generales para la creación de símbolos gráficos. Parte 2: Símbolos gráficos para utilizar en la documentación técnica de productos.

UNE 1135:1995 - Dibujos técnicos. Lista de elementos.

UNE 1166-1:1996 - Documentación técnica de productos. Vocabulario. Parte 1: Términos relativos a los dibujos técnicos. Generalidades y tipos de dibujo.

UNE-EN ISO 3098-0:1998 - Documentación técnica de productos. Escritura. Requisitos generales. (ISO 3098-0: 1997).

UNE-EN ISO 3098-2:2001 - Documentación técnica de producto. Escritura. Parte 2: Alfabeto latino, números y signos. (ISO 3098-2:2000).

UNE-EN ISO 3098-3:2001 - Documentación técnica de producto. Escritura. Parte 3: Alfabeto griego. (ISO 3098-3:2000).

UNE-EN ISO 3098-4:2001 - Documentación técnica de producto. Escritura. Parte 4: Signo., diacríticos y particulares del alfabeto latino. (ISO 3098-4:2000).

UNE-EN ISO 3098-5:1998 - Documentación técnica de productos. Escritura. Parte 5: Escritura en diseño asistido por ordenador (DAO), del alfabeto latino, las cifras y los signos. (ISO 3098-5: 1997).



- UNE-EN ISO 3098-6:2001 - Documentación técnica de producto. Escritura. Parte 6: Alfabeto cirílico. (ISO 30986:2000).
- UNE-EN ISO 5455:1996 - Dibujos técnicos. Escalas. (ISO 5455: 1979).
- UNE-EN ISO 5456-1:2000 - Dibujos técnicos. Métodos de proyección. Parte 1: Sinopsis. (ISO 5456-1: 1996).
- UNE-EN ISO 5456-2:2000 - Dibujos técnicos. Métodos de proyección. Parte 2: Representaciones ortográficas. (ISO 5456-1: 1996).
- UNE-EN ISO 5456-3:2000 - Dibujos técnicos. Métodos de proyección. Parte 3: Representaciones axonométricas. (ISO 5456-3: 1996).
- UNE-EN ISO 5457:2000 - Documentación técnica de producto. Formatos y presentación de los elementos gráficos de las hojas de dibujo. (ISO 5457: 1999).
- UNE-EN ISO 6433:1996 - Dibujos técnicos. Referencia de los elementos (ISO 6433: 1981).
- UNE-EN ISO 10209-2:1996 - Documentación técnica de producto. Vocabulario. Parte 2: Términos relacionados con los métodos de proyección. (ISO 10209-2: 1993).
- UNE-EN ISO 11442-1:1996 - Documentación técnica de productos. Gestión de la información técnica asistida por ordenador. Parte 1: Requisitos de seguridad. (ISO 11442-1: 1993).
- UNE-EN ISO 11442-2:1996 - Documentación técnica de productos. Gestión de la información técnica asistida por ordenador. Parte 1: Documentación original. (ISO 11442-2: 1993).
- UNE-EN ISO 11442-3:1996 - Documentación técnica de productos. Gestión de la información técnica asistida por ordenador. Parte 3: Fases del proceso de diseño de producto. (ISO 11442-3: 1993).
- [2] Norma ISO 14040 - Gestión medioambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y Estructura, (ISO 14040: 1997).
- [6] Norma ISO 14.000 - Environmental Management ISO Standards Collection on CD-ROM, Genève, 2000.



4.2.- BIBLIOGRAFIA.

En aquest apartat es contemplarà el conjunt de llibres, revistes i articles que s'ha considerat d'interès per el desenvolupament i justificació del projecte, amb les seves referències.

Libres

F. Javier Neila González, Arquitectura Bioclimática en un entorno sostenible, Editorial Munilla-Lería, Madrid, Marzo 2004.

[5] Curran, M.A. Environmental Life Cycle Assessment, New York. McGraw-Hill, New York, 1996.

[57] PRé-Consultants. The Eco-indicator 99. A damage oriented method for life cycle impact assessment. Methodology report and manual for designers. Technical Report, PRé Consultants, Amersfoort: The Netherlands; 2000.

[9] Baumann, H., Tillman, A.M. The Hitch Hiker's Guide to LCA. An orientation in life cycle assessment methodology and application. Studentlitteratur, Lund (Sweden), 2004.

[10] Fullana, P., Puig, R. Análisis de ciclo de vida. Rubes, Barcelona, 1997.

[11] Muñoz, I., Rieradevall, J., Domènech, X. Definición de la unidad funcional e implicaciones en el ACV. Análisis de ciclo de vida: Aspectos metodológicos y casos prácticos. Editorial UPC, Valencia, 2005.

[14] Feijoo, G., Hospido, A., Moreira, M.T. Reglas de asignación en procesos multifuncionales. Análisis de ciclo de vida: Aspectos metodológicos y casos prácticos. Editorial UPC, Valencia, 2005.

Pàgines web

http://www.oei.es/salactsi/dossier_cientifico.pdf

[4] Norris, G.A., Notten, P. Current availability of LCI database in the world, Working Draft 2a, prepared for the UNEP/SETAC Life-Cycle Initiative, 2002.
<http://www.unep.fr/pc/sustain/reports/lcini/Database%20overview.pdf>.

[45] European Aggregates Association. A sustainable industry for a sustainable Europe. Annual review, <http://www.uepg.eu>; 2009–2010.

[46] European tire and rubber manufacturers association ETRMA. End of life tyres. A valuable resource with growing potential, 2010 Edition. <http://www.etrma.org/>.



[55] Soprema web site:

<http://www.soprema.fr/metiers/produit/1497/971/SOPRANATURE>.

[56] The Ecoinvent Center. A competence centre of ETH; PSI; Empa & ART.

<http://www.ecoinvent.ch/>. Ecoinvent data v2.1.

Articles en revistes indexades

Pérez G, Rincón L, Vila A, González JM, Cabeza LF. Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings. *Appl Energ* 88 (2011) 4854–4859.

Pérez P, Rincón L, Vila A, González JM, Cabeza LF. Behaviour of green facades in Mediterranean Continental climate. *Energ Convers Manage* 52 (2011) 1861–1867.

[3] Curran, M.A. The status of life-cycle assessment as an environmental management tool. *Environmental Progress*, 23(4), (2004) 277-283.

[12] Fleischer, G., Schmidt, W.P. (1996) Functional unit for systems using natural raw materials. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 1(1), 23-27.

[13] Ruhland, A., Striegle, G., Kreisel, G. (2000) Functional equivalence of industrial metal cleaning processes. Comparison of metal cleaning processes within LCA. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 5(3), 127-133.

[15] Ekvall, T., Finnveden, G. (2001) Allocation in ISO 14041 - a critical review. *Journal of Cleaner Production*, 9, 197-208.

[16] Rivela, B., Moreira, M.T., Bornhardt, C., Méndez, R., Feijoo, G. (2004) Life cycle assessment as a tool for the environmental improvement of the tannery industry in developing countries. *Environmental Science & Technology*, 38(6), 1901-1909.

[17] Jungmeier, G., Werner, F., Jarnehammar, A., Hohenthal, C., Richter, K. (2002) Allocation in LCA of wood-based products experiences of cost action E9. Part I. Methodology. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 7(5), 290-294.

[18] Rivela, B., Moreira, M.T., Muñoz, I., Rieradevall, J., Feijoo, G. (2006) Life cycle assessment of wood wastes: A case study of ephemeral architecture. *Science of the Total Environment*, 357, 1-11.

[19] Erlandsson, M., Lindfors, L. On the Possibilities to Apply the Result from an LCA Disclosed to Public. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 8(2), (2003) 65-73.

[20] Goedkoop, M., Hofstetter, P., Müller-Wenk, R., Spriemsma, R. The Ecoindicator 98 Explained. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 3(6), (1998) 352-360.



- [21] Hertwich, E.G., Hammitt, J. A Decision-Analytic Framework for Impact Assessment. Part 2: Midpoints, Endpoints and Criteria for Method Development. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 6(5), (2001) 265-272.
- [22] Seppälä, J., Hämmäläinen, R.P. On the meaning of the Distance-to-Target Weighting Method and Normalisation in Life Cycle Assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 6(4), (2001) 218-221.
- [23] Itsubo, N. Impact Assessment based on the Damage of Safeguard Subjects. Indicators and Methodology for Human Health. Workshop Report. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 7(3), (2002) 178.
- [25] K. Adalberth. Energy use during the life cycle of single-unit dwellings: examples. *Building and Environment* 32 (4) (1997) 321–329.
- [26] B. Rossello-Batle, A. Moia, A. Cladera. V. Martinez. Energy use, CO2 emissions and waste throughout the life cycle of a sample of hotels in the Balearic Islands. *Energy and Buildings* 42 (2010) 547–558.
- [27] Sharma, A. Saxena, M. Sethi, V. Shree Varun. Life cycle assessment of buildings: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (2011) 871–875.
- [28] O.F. Kofoworola, S.H. Gheewala. Environmental life cycle assessment of a commercial office building in Thailand. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 13 (2008) 498–511.
- [29] N. Mithraratne, B. Vale. Life cycle analysis model for New Zealand houses. *Building and Environment* 39 (2004) 483 – 492.
- [30] Y. Chang, R.J. Ries, Y.Wang. The embodied energy and environmental emissions of construction projects. *Energy Policy* 38 (2010) 6597–6603.
- [31] A. de Gracia, L. Rincón, A. Castell, M. Jiménez, D. Boer, M. Medrano, L.F. Cabeza. Life Cycle Assessment of the inclusion of phase change materials (PCM) in experimental buildings. *Energy and Buildings* 42 (2010) 1517-1523.
- [32] T. Ramesh, Ravi Prakasha, K.K. Shukla. Life cycle energy analysis of buildings: an overview. *Energy and Buildings* 42 (2010) 1592–1600.
- [33] C. Thormark. A low energy building in a life cycle - its embodied energy, energy need for operation and recycling potential. *Building and Environment* 37 (2002) 429 – 435.
- [34] I. Zabalza Bribian, A. Valero Capilla, A. Aranda Uson. Life cycle assessment of building materials: comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the ecoefficiency improvement potential. *Building and Environment* 46 (2011) 1133-1140.



- [35] Gian Andrea Blengini, Tiziana Di Carlo. The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings. *Energy and Buildings* 42 (2010) 869–880.
- [36] Françoise Nemry, Andreas Uihlein, Cecilia Makishi Colodel, Christian Wetzel, Anna Braune, Bastian Wittstock, Ivana Hasan, Johannes Kreißig, Nicole Gallon, Sigrid Niemeier, Yosrea Frech. Options to reduce the environmental impacts of residential buildings in the European Union –Potential and costs. *Energy and Buildings* 42 (2010) 976–984.
- [37] Ignacio Zabalza Bribián, Alfonso Aranda Usón, Sabina Scarpellini. Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. *Building and Environment* 44 (2009) 2510–2520.
- [38] Aashish Sharma, Abhishek Saxena, Muneesh Sethi, Venu Shree, Varun. Life cycle assessment of buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (2011) 871–875.
- [39] Oscar Ortiz, Francesc Castells, Guido Sonnemann. Sustainability in the construction industry: A review of recent development based on LCA. *Construction and Building Materials* 23 (2009) 28–39.
- [40] Edwin H.W. Chan, Queena K. Qian, Patrick T.I. Lam. The market for green building in developed Asian cities –the perspectives of building designers. *Energy Policy* 37 (2009) 3061–3070.
- [41] O. Ortiz, J.C. Pasqualino, F. Castells. Environmental performance of construction waste: Comparing three scenarios from a case study in Catalonia, Spain. *Waste Management* 30 (2010) 646–654.
- [42] Frank Werner, Klaus Richter. Wooden building products in comparative LCA. A literature review. *Comparative LCA. A Literature Review. Int. J. LCA* 12 (7) 470–479.
- [43] Nicholas J. Santero, Eric Masanet, Arpad Horvath. Life-cycle assessment of pavements. Part I: Critical review. *Resources, Conservation and Recycling* 55 (2011) 801–809.
- [44] Gareth Rice, Roland Clift, Richard Burns. LCA software review. Comparison of currently available european. *Int. J. LCA* 2 (1) 53-59 (1997).
- [47] Richter AY, Weaver RW. Treatment of domestic wastewater by subsurface flow constructed wetlands filled with gravel and tire chip media. *Environ Technol* 2003;24(12):1561–1567.
- [48] Vila A., Pérez G., Solé C., Fernández A.I., Cabeza L.F. et al. Use of rubber crumbs as drainage layer in experimental green roofs. *Building and Environment*, 2011; 48 (2012) 101-106



[49] Pérez G, Vila A, Rincón L, Solé C, Cabeza LF. Use of rubber crumbs as drainage layer in green roofs as potential energy improvement material. Appl Energ 2011;doi: 10.1016/j.apenergy.2011.11.051.

[50] Menoufi K., Castell A., Navarro L., Pérez G., Boer D., Cabeza L.F. et al. Evaluation of the environmental impact of experimental cubicles using Life Cycle Assessment: A highlight on the manufacturing phase. Applied Energy, 2011; 92 (2012) 534-544

[51] Zheng G, Jing Y, Huang H, Zhang X, Gao Y. Application of Life Cycle Assessment (LCA) and extenics theory for building energy conservation assessment. Energy 2009;34:1870–1879.

[52] Kellenberger D, Althaus H. Relevance of simplifications in LCA of building components. Build Environ 2009;44:818–825.

[53] Cabeza LF, Castell A, Medrano M, Martorell I, Pérez G, Fernández AI. Experimental study on the performance of insulation materials in Mediterranean construction. Energ Buildings 42 (2010) 630-636.

[54] de Gracia A, Castell A, Medrano M, Cabeza LF. Dynamic thermal performance of alveolar brick construction system. Energ Buildings 52 (2011) 2495-2500.

[58] Ortiz O, Paqualino JC, Castells F. Environmental performance of construction waste: Comparing three scenarios from a case study in Catalonia, Spain. Waste Management 2010;30:646–654.

Altres articles

Rincón L, Pérez G, Castell A, Boer D, Cabeza L.F. et al. Life Cycle Assessment of green roofs compared to conventional roof. Article presentat al congrés Innostock 2012.

Rincón L., Castell A., Pérez G., Solé C., Boer D., Cabeza L.F. et al. Evaluation of the environmental impact of experimental buildings with different constructive solutions using Life Cycle Assessment and Material Flow Analysis. Article presentat al congrés Innostock 2012.

[1] Consoli, F. Guidelines for Life-Cycle Assessment: A Code of Practice. SETAC-Europe. Sesimbra, Portugal, 1993.

[7] Fava, J.A., Denison, R., Jones, B., Curran, M.A., Vigon, B., Selke, S., Barnum, J. A technical framework for life-cycle assessment. SETAC Foundation, Vermont (USA), 1991.



-
- [8] von Bahr, B. The relevance aspect of Life Cycle Inventory Data Quality. Doctoral Thesis. Department of Environmental Systems Analysis. Chalmers University of Technology. Gotemburgo (Suecia), 2001.
- [24] Goedkoop M., Spriensma, R. The eco-indicator 99 -A damage oriented method for life cycle impact assessment. Methodology report. Pré Consultants B.V, 2000.



4.3.- PROGRAMES DE CàLCUL. Mètode.

4.3.1.- METODOLOGIA – ANÀLISI DE CICLE DE VIDA.

4.3.1.1.- Historia.

Els orígens dels estudis sobre la consideració de l'impacte ambiental d'un producte / procés / servei al llarg del seu cicle de vida es remunten a la dècada de 1960, moment en què es realitzen els primers treballs sobre el perfil ambiental de diferents tipus d'envasos utilitzats per l'empresa Coca-Cola (els resultats mai van arribar a fer-se públics). Simultàniament, el Batelle-Institute de Frankfurt va considerar la utilització de matèries primeres i energia en els processos, buscant la minimització del seu impacte ambiental, preocupant-se per la fi del cicle dels béns de consum amb una adequada gestió dels mateixos.

La crisi energètica de 1973 va suposar una gran expansió en els estudis conduents a la identificació del consum d'energia en cadascuna de les etapes de producció, la identificació de mesures per a la reducció dels consums energètics es va convertir en una prioritat en moments d'escassetat.

La consolidació de la metodologia de l'Anàlisi de Cicle de Vida (ACV) es produeix en la dècada de 1990. El 1993 apareix la primera definició d'aquesta eina, proposada per la SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry), que edita una sèrie de guies que sistematitzen els estudis d'ACV, permetent la comparació dels diferents casos pràctics analitzats [1]. Paral·lelament, diverses revistes científiques (exemple AIChE Journal o Environmental Science & Technology) obren les portes als treballs relacionats amb l'ACV, el que promou una explosió de treballs científics en aquest camp.

4.3.1.2.- Introducció.

Per l'estudi d'investigació de les cobertes verdes utilitzem una metodologia anomenada Anàlisi de Cicle de Vida (ACV).

L'ACV és un mètode científic que s'empra per investigar l'impacte potencial d'un material o d'un sistema en el medi ambient durant tota la vida d'aquest material, en una aplicació concreta, des de l'obtenció de les matèries primeres, fins al moment en què es desfeta. D'aquesta manera es poden comparar els impactes mediambientals de diferents materials o de diferents sistemes, utilitzats amb un mateix propòsit.

ACV té com a objectiu l'avaluació de càrregues energètiques i ambientals corresponents a un procés o a una activitat, que s'efectua identificant els materials i l'energia utilitzada i els descarts alliberats en l'ambient natural. L'avaluació es realitza en el cicle de vida complet del procés o activitat, incloent l'extracció i tractament de la matèria primera, la fabricació, el transport, la distribució, l'ús, el reciclatge, la reutilització i el despatx final (Figura 1).

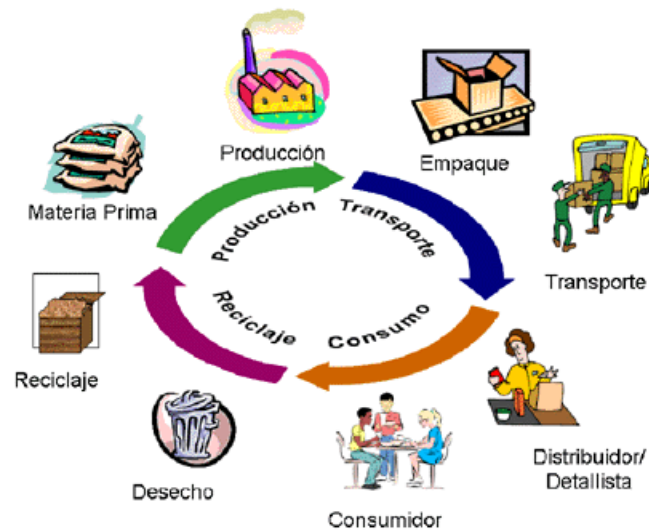


Figura 1. Procés del cicle de vida d'un producte, bé o servei.

La norma UNE-EN ISO 14.040 defineix l'ACV com: "una tècnica per avaluar els aspectes mediambientals i els potencials impactes associats amb un producte procés, o activitat mitjançant: la recol·lecció d'un inventari de les entrades i sortides rellevants d'un sistema, la valuació dels potencials impactes mediambientals associats amb aquestes entrades i sortides, i la interpretació dels resultats de les fases d'anàlisi i valuació d'impacte d'acord amb els objectius de l'estudi" [2].

D'aquesta definició es dedueix que l'ACV és una eina que es pot emprar per avaluar les càrregues de tipus ambiental associades a un producte tenint en compte el seu cicle complet. Per tant, per a una determinada activitat, el problema no només queda circumscrit al procés industrial, sinó que també cal establir quina és la part alíquota de contaminació de totes les activitats prèvies i posteriors que el producte en qüestió origina. Per exemple, el transport del producte fins als consumidors es realitza normalment mitjançant camions que produeixen emissions de gasos a l'atmosfera per tona i per quilòmetre de recorregut i emissions que lògicament han de ser imputades al producte. Tot això és possible mitjançant la identificació i quantificació de les matèries primeres, l'energia i els residus abocats al medi associat. D'aquesta manera, es determina l'impacte produït per l'ús d'aquesta energia, pel consum de matèries primeres i també per les descàrregues al medi [3].

L'Anàlisi del Cicle de Vida comprèn quatre etapes que es descriuen a la Figura 2 [4-6]:

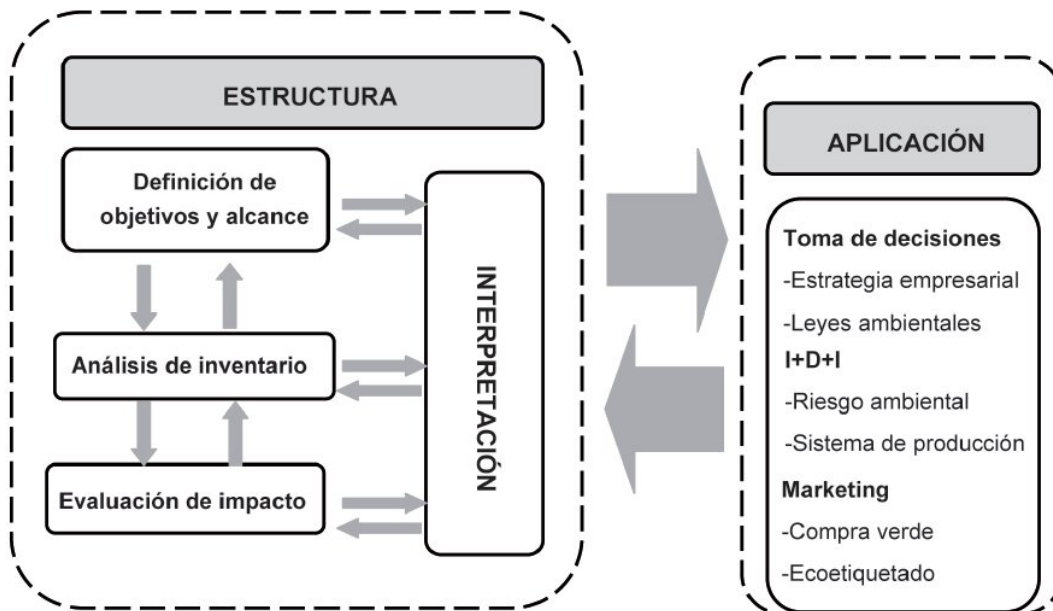


Figura 2. Etapes d'un anàlisi de cicle de vida i aplicacions.

I. Definició dels objectius i abast.

Aquesta etapa del procés / servei / activitat s'inicia definint els objectius globals de l'estudi, on s'estableixen la finalitat de l'estudi, el producte implicat, el públic al qual s'adreça, l'abast o magnitud de l'estudi (límits del sistema), la unitat funcional, les dades necessàries i el tipus de revisió crítica que s'ha de realitzar.

II. Anàlisi de l'inventari (Life Cycle Inventory - LCI).

L'ACV d'un producte comprèn una sèrie de processos i sistemes connectats per la seva finalitat comuna de creació del producte. L'anàlisi de l'inventari és una llista quantificada de tots els fluxos entrants i sortints del sistema durant tota la seva vida útil, els quals són extrets del medi ambient natural o bé emesos en ell, calculant els requeriments energètics i materials del sistema i l'eficiència energètica dels seus components, així com les emissions produïdes en cada un dels processos i sistemes.

L'anàlisi d'inventari és la fase de l'ACV que ha experimentat un major desenvolupament. La seva metodologia ha anat evolucionant i perfeccionant durant més de 20 anys. L'anàlisi d'inventari és fonamentalment un balanç de matèria i energia del sistema. Els fluxos materials i energètics han de ser fluxos unitaris, és a dir, han de procedir o ser descarregats a la naturalesa. En cas contrari, cal especificar que el seu origen o destí és la tecnosfera. El LCI inclou les següents etapes [7]:

- Construcció del diagrama de flux, conforme als límits del sistema establerts en l'etapa de definició d'objectius i abast.

- Recol·lecció de dades de totes les activitats en el sistema de producció. Cal establir l'origen d'aquestes dades: bibliogràfics i / o mesures in situ, en aquest últim cas s'ha d'indicar la metodologia emprada.
- Càlcul de les càrregues ambientals referides a la unitat funcional.
- Normalització de les dades pel que fa a unitats.
- Balanços de matèria que permetin interrelacionar les entrades i sortides entre els diferents subsistemes.
- Quantificació dels fluxos de sortida del sistema a la naturalesa o tecnosfera.
- Inventari global.
- Documentació dels càlculs.

El diagrama flux general de l'inventari, abastant totes les fases del cicle de vida, ha estat proposat en 1991 per la SETAC [7].

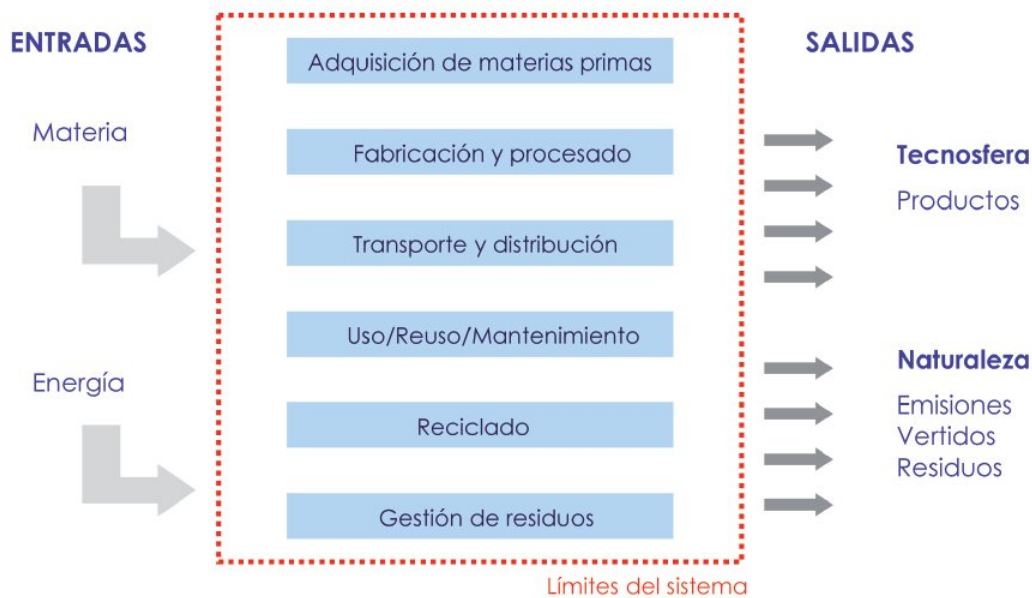


Figura 3. Diagrama de flux de l'inventari de cicle de vida.

La recollida de dades d'inventari, sens dubte l'etapa que més temps i recursos consumeix en l'elaboració d'un ACV, serà diferent en cada situació concreta. Les dades adquirides es poden classificar en els següents quatre grups [8]:

- (i) mesures directes
- (ii) documents publicats
- (iii) fonts electròniques
- (iv) comunicacions personals.

A la Taula 1 es presenten de forma genèrica els principals avantatges i inconvenients que caracteritzen cada un dels grups.

Entre totes aquestes fonts d'informació, les bases de dades han estat i segueixen sent una de les vies fonamentals per trobar les dades d'inventari necessaris per realitzar un ACV.



Ventajas		Desventajas
Medidas directas	Buen control sobre la actividad	Carencia de recursos y conocimientos adecuados
Documentos Publicados	Declaraciones Ambientales	Elevada confianza Información estructurada Publicación anual, lo que permite comparaciones temporales
	Informes de ACV procedentes de otros estudios	No adaptados para estudios de ACV: datos de inventario incompletos, límites del sistema no descritos, ... Elevado grado de agregación que puede ocultar información de interés Diferentes requerimientos para una misma unidad de proceso
	Otras fuentes, estadísticas, requerimientos legales, ...	No completamente adaptadas para estudios de ACV Límites del sistema no claros Origen de los datos no siempre especificado
F. Electrónicas	Bases de datos	Formato y contenido adaptados a los estudios de ACV Proporcionan un gran número de datos de una sola vez Pueden ser compatibles con software de ACV
	Internet	El análisis de la relevancia y fiabilidad de los datos puede ser difícil Elevada dificultad para comprobar la relevancia y fiabilidad de la información La información puede desaparecer, dejando de estar disponible
Comunicaciones personales	Posibilidad de repetir y modificar las cuestiones realizadas	Dificultad para encontrar la persona adecuada a quien preguntar

Taula 1. Avantatges i inconvenients dels diferents tipus de dades.

La Taula 2 mostra, a tall d'exemple, les bases de dades d'ús més estès. Per fer front a les dificultats que comporta l'obtenció de dades fiables, diversos països han iniciat esforços per a crear bases de dades públiques, que incloguin específicament bases de dades d'inventari de cicle de vida [9 - 18].

Nombre	País de origen	Alcance
ECOINVENT v1	Suiza	Más de 2500 procesos: energía, transporte, materiales de construcción, compuestos químicos, papel y cartón, gestión de residuos ...
ETH-ESU 96	Suiza	Más de 1200 procesos: generación de electricidad y procesos relacionados, como transporte, procesado y gestión de residuos
BUWAL 250	Suiza	Procesos relacionados con materiales de envase (plástico, cartón, papel, vidrio, metales), energía, transporte y gestión de residuos
IDEMAT 2001	Holanda	Procesos relacionados con materiales ingenieriles (metales, aleaciones, plásticos, madera), energía y transporte
IVAM	Holanda	Procesos relacionados con materiales, transporte, energía y tratamiento de residuos
FEFCO	Bélgica	Datos europeos relativos a la fabricación de cartón corrugado
Franklin US LCI	EEUU	Datos de inventario procedentes de Norte América, relativos a energía, transporte, acero, plásticos y procesado

Taula 2. Bases de dades comercials.



III. L'avaluació d'impactes (Life Cycle Impact Assessment - LCIA).

L'avaluació d'impacte és un procés tècnic per a la caracterització i l'anàlisi de les càrregues ambientals identificades en l'inventari [1]. L'etapa d'avaluació d'impacte té com a missió interpretar els resultats obtinguts en l'inventari, indicant la capacitat de distorsionar el medi ambient del producte o activitat avaluat en les diverses categories d'impacte, com canvi climàtic, destrucció de la capa d'ozó, toxicitat, acidificació, etc.

Etapas existents:

La fase d'inventari consta al seu torn d'una sèrie d'etapes. L'estructura d'aquesta fase ve determinada per la ISO 14042, que distingeix entre elements obligatoris i elements opcionals (Figura 4):

La selecció de les categories ambientals consisteix a establir la sèrie de categories ambientals a analitzar, per exemple, radiació, eutrofització, acidificació, toxicitat, etc.

En l'etapa de classificació, les dades d'inventari són assignats a categories que representen els impactes ambientals bàsics.

La caracterització implica l'aplicació de models per obtenir un indicador ambiental en cada categoria d'impacte, unificant a una única unitat de referència totes les substàncies classificades dins de cada categoria mitjançant l'ús de factors de pes o equivalència.

En termes de valor absolut, una contribució a determinada categoria d'impacte pot semblar molt significativa, però, és possible que en considerar l'impacte global del procés aquesta contribució sigui menyspreable. La normalització i ponderació de les categories permet establir comparacions entre elles i emetre una anàlisi en major profunditat. La normalització consisteix en l'avaluació de la significació del perfil ambiental generat en els passos anteriors, mitjançant l'establiment del pes de cada categoria. Aquesta etapa permet la "adimensionalització" de les categories i la comparació entre les mateixes. El valor obtingut en cada categoria es pot relativitzar respecte a una quantitat de referència, per exemple, el valor d'aquella categoria en qüestió per al conjunt de l'activitat mundial, o la regió o país on es realitza l'estudi.

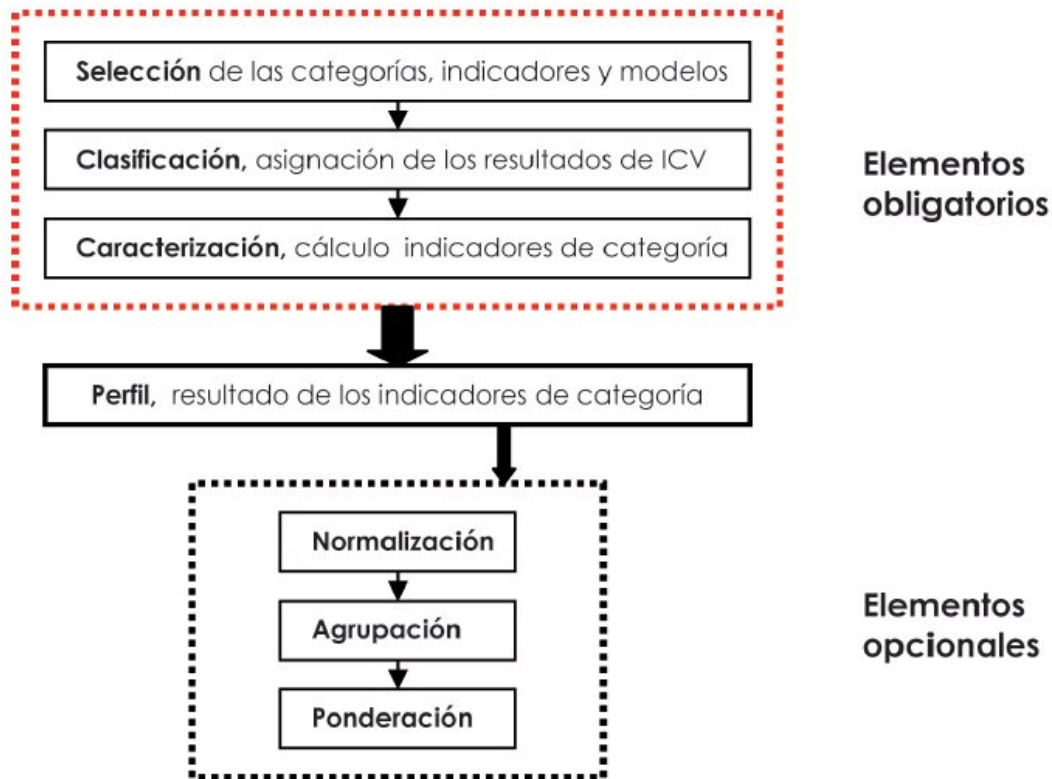


Figura 4. Elements obligatoris i opcionals de l'LCIA, conforme a la ISO 14042.

Finalment, la valoració o ponderació permet determinar, qualitativa o quantitativament, la importància relativa de les diferents categories d'impacte, amb la finalitat d'obtenir un resultat únic o índex ambiental. La valoració o ponderació entre categories és un pas difícil i controvertit i poques vegades es realitza. La raó és que cal emetre judicis subjectius i, per la mateixa raó, criticables.

IV. La interpretació de resultats.

Els resultats de les fases precedents són avaluats junts, en una manera congruent amb els objectius definits per a l'estudi, a fi d'establir les conclusions i recomanacions per a la presa de decisions.

L'ACV no segueix una metodologia fixa, no hi ha una única manera de realitzar una avaluació d'aquest tipus. Al contrari, té diverses alternatives, i per tant s'ha d'estar familiaritzat amb els mètodes científics de recerca i amb l'avaluació del sentit comú de les qüestions complexes abans de realitzar aquest tipus d'estudi.



4.3.1.3.- Aplicacions de l'Anàlisi de Cicle de Vida.

L'ACV no és l'única eina per analitzar el rendiment ambiental, però el valor real d'ACV és l'articulació entre el criteri ambiental a través de tot el cicle de vida i les estratègies de l'empresa i planificació per assolir beneficis comercials. L'ACV pot proveir a una empresa informació valuosa e interna en el cas d'avaluar un sistema productiu sobre l'eficiència de l'ús dels recursos i maneig de deixalles, etc. Encara que no és apropiat per exemple, si volen analitzar les implicacions sobre el client dels efectes tòxics sobre la salut. L'ACV pot ajudar l'empresa a guanyar avantatges competitius a través d'estalvi de costos, incrementar guanys i millorar la imatge (de l'empresa o d'un producte determinat).

Alguns exemples d'aplicacions d'ACV es mostren a continuació:

- Millora i desenvolupament de productes / serveis (Disseny)
- Comparació de productes
- Identificar "punts calents" en el cicle de vida d'un producte
- Ecoetiquetatge (Tipus I i III)
- Indicadors de performance ambiental
- Localització de la producció
- Planejament estratègic
- Educació i comunicació
- Prevenir pol·lució
- Avaluar i reduir riscos potencials
- Avaluar i millorar programes ambientals
- Desenvolupament de polítiques i regulacions
- Desenvolupar estratègies de mercat

4.3.2.- ECO-INDICATOR 99

L'Eco-Indicator 99 (EI99) és una ciència basada en el mètode d'avaluació de l'impacte de ACV i un mètode específic de disseny ecològic pragmàtic.

Aquest mètode ofereix als dissenyadors una manera de fer una avaluació ambiental d'un producte mitjançant el càlcul dels eco-indicadors, nombres que expressen l'impacte ambiental total d'un procés o producte, de les proves materials i processos utilitzats, i mostra el resultat final en una sola puntuació.

Es fa especial èmfasi en l'avaluació de danys i va ser perfeccionat en els anys de 1997 - 1999 per un grup d'experts.

L'estudi va ser patrocinat pel Govern dels Països Baixos com a part d'una política de major ambient al país.

Les diferents metodologies d'avaluació d'impacte de cicle de vida es poden agrupar en dos grans grups en funció del seu objectiu final (Figura 5):

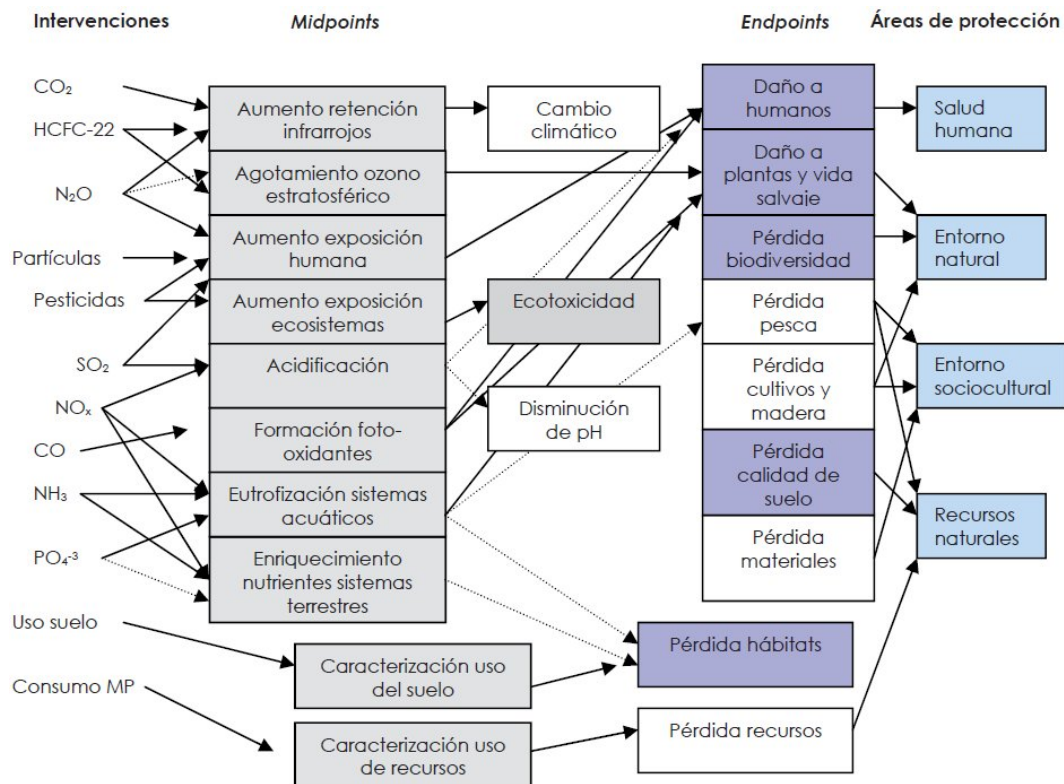


Figura 5. Esquema de les relacions entre intervencions ambientals, impactes d'efectes intermitjos "midpoints", impactes d'efectes finals "endpoints" i àrees de protecció.

- Metodologies "midpoints" o d'impactes d'efecte intermedi: Són metodologies que tenen com a resultat la definició d'un perfil ambiental, mitjançant la quantificació de l'efecte ambiental sobre diverses categories (acidificació, destrucció capa d'ozó, etc.), del producte / procés / servei analitzat.

En contraposició al segon grup de metodologies, aconseguixen només l'avaluació dels efectes indirectes o intermedis sobre l'ésser humà.

- Metodologies "endpoints" o d'impactes d'efecte final: Són metodologies que analitzen l'efecte últim de l'impacte ambiental, és a dir, tracten d'identificar i definir el dany causat a l'home i als sistemes naturals. Les categories d'impacte finals són variables que afecten directament la societat, pel que la seva elecció resulta més rellevant i comprensible a escala global.

En els últims anys l'atenció s'ha centrat en els mètodes d'avaluació d'impacte que contemplin la modelització del dany [19-22]. La modelització del dany permet no només la caracterització (potencials impactes de les categories estudiades, com ara el canvi climàtic), sinó que analitza el dany produït sobre el recinte declarat [23].

Per fer possible aquest estudi es necessita una gran quantitat de recopilació de dades, càlculs i modelar l'impacte sobre el medi ambient, això es pot aconseguir utilitzant la metodologia Eco-Indicator 99 (EI99).

La metodologia d'Eco-Indicator 99 representa el millor mètode de desenvolupament aconseguit en ACV [24].

L'Eco-Indicator 99 modelitza el dany ambiental mitjançant l'anàlisi de destinació de les emissions, exposició, anàlisi d'efectes i, finalment, anàlisi de danys.

Eco-Indicator 99 és una ciència basada en el mètode d'avaluació de l'impacte de ACV i un mètode específic de disseny ecològic pragmàtic.

Ofereix una manera de mesurar els efectes ambientals, i mostra el resultat final en una sola puntuació.

Amb aquests resultats es podrà quantificar el dany, per a cada material, en tres categories de protecció relacionades amb l'home i la natura (criteris de valoració de la norma ISO terminologia):

- Dany a la qualitat de l'ecosistema
- Dany a la salut humana
- Esgotament als recursos

Cadascú d'aquestes categories de danys es divideixen en les subcategories següents (Taula 3):

Qualitat de l'ecosistema	Salut humana	Recursos
Acidificació i eutrofització	Cancerígens	Combustibles fòssils
Ecotoxicitat	Canvi climàtic	Extracció de minerals
Ocupació de terra	Radiacions ionitzants	
	Esgotament de la capa d'ozó	
	Efectes respiratoris	

Taula 3. Categories i subcategories de dany en el mètode d'avaluació d'impacte de l'Eco-Indicator99.

La caracterització proporciona les directrius per a la modelització i estimació d'un indicador ambiental per a cadascuna de les categories contemplades.

El dany a la salut humana: en aquesta categoria inclou el nombre i la durada de les malalties, i els anys de vida perduts a causa de la mort prematura per causes ambientals. S'expressa en Disability Life Years (DALY), és a dir, "anys de vida sotmesos a una discapacitat" (nombre d'anys de vida perduts i el nombre d'anys en què s'ha patit una malaltia), terminologia emprada per l'OMS.



El dany a la qualitat de l'ecosistema: inclou l'efecte sobre la diversitat d'espècies, especialment en les plantes vasculars i els organismes senzills. S'expressa com Potentially Disappeared fraction (PDF) i Potentially Affected fraction (PAF) o fracció d'espècies que potencialment desapareixeran o es veuran afectades, respectivament, com a conseqüència de l'impacte ambiental experimentat en una àrea durant un temps determinat. Aquests valors són posteriorment multiplicats per l'àrea d'impacte i el període temporal per obtenir finalment el dany.

El dany als recursos: s'obté a partir de models geoestadístics que relacionen disponibilitat i concentració, i s'expressa com l'energia extra que serà necessària per a la futura extracció mineral de baixa qualitat i recursos fòssils. S'expressa com MJ d'energia extra.

El funcionament intern del programa 'Eco-Indicator 99' consisteix en unes expressions matemàtiques per arribar a una puntuació de **EI** final:

- Caracterització: La contribució relativa de cada entrada / sortida al sistema de producte a la càrrega ambiental s'assigna a categories d'impacte i es converteixen en indicadors que representen els impactes corresponents potencials en el medi ambient.

Categoria de l'indicador = \sum_s Caracterització dels factors (s) · Inventari d'emissions (s), on el subíndex 's' denota el producte químic.

- Normalització: La normalització afegeix els beneficis de la col·locació caracteritzant els resultats d'impacte dels indicadors en un context més ampli. S'expressa d'una manera que permet que els indicadors d'impacte puguin ésser comparats entre si amb facilitat.

$$N_k = S_k / R_k$$

- Ponderació: L'aplicació de factors de ponderació en base a criteris subjectius com:
 - Els factors socials.
 - Els factors polítics.
 - Els factors ètics.

$$EI = \sum V_k \cdot N_k \quad \text{o} \quad EI = V_k \cdot S_k$$



- Interpretació:

Interpretació dels resultats d'avaluació d'impacte, i establiment de conclusions per tal d'orientar la presa de decisió del procés.

Es defineixen els problemes ambientals crítics, i es reconeix la importància de la contribució relativa de les components d'un determinat producte o processos a la càrrega ambiental:

- Sensibilitat de verificació.
- Integritat de verificació.
- Comprovació de coherència.

Finalment, comparant totes aquestes dades, es pot arribar a la conclusió d'haver trobat quina és la solució constructiva més sostenible.

El problema més important de l'estudi és que no existeix simplement una sola veritat perquè hi ha moltes opcions per a cada valor i la base de dades pot ser molt extensa i amb moltes possibilitats i alternatives. Per exemple, una substància que es classifica com a "possible carcinogen" pot ser vist com extremadament perillós per una sola persona, mentre que per un altre no molesta en absolut.

4.3.3.- ESTAT DE L'ART

Múltiples estudis d'ACV s'han dut a terme per obtenir i clarificar els beneficis globals de diferents solucions constructives dels edificis, o específicament, per investigar la capacitat de reduir l'impacte ambiental en una etapa del cicle vital (fase operativa), sense augmentar en una altra etapa (fase de fabricació).

Un exemple és l'article publicat per Adalberth et al.[25] d'un estudi d'ACV per als habitatges d'una sola unitat per determinar l'impacte ambiental durant les diferents fases del cicle de vida. Rossello-Batle et al.[26] estima l'impacte sobre el medi ambient dels edificis turístics (hotels) a les Illes Balears (Espanya).

Una investigació similar per a diferents casos d'estudi es poden trobar en altres articles, Sharma et al. [27], Kofoworola et al. [28], Mithraratne et al. [29] i Chang et al. [30] on conclouen que la fase dominant d'un cicle de vida en edificis és l'etapa operativa ja que consumeix més energia i per tant té més impacte sobre el medi ambient, mentre que l'energia incorporada només constitueix al voltant del 15% de la necessitat total d'energia durant el cicle de vida. Però a l'altra banda, altres estudis informen que el contingut d'energia de la fase de construcció pot ser també important i requereix atenció. Com un exemple, de Gracia et al. [31] va examinar si la reducció de l'impacte assolit durant la fase operativa compensa l'augment de l'impacte que resulta de l'energia incorporada durant la fase de fabricació. Els resultats d'aquest estudi mostren que almenys 25 anys d'utilització de la construcció durant la fase operativa es necessiten per compensar l'alt impacte induït per la fase de fabricació. Aquest període és considerat com un llarg període de temps de recuperació, ja que constitueix un percentatge significatiu de la vida útil normalment s'assumeix dels edificis (de 50 a 100 anys). Això



verifica que com menor sigui el contingut d'energia d'un edifici, més curt és el retorn de la inversió necessària per a la fase d'explotació per compensar l'alt impacte causat per l'energia incorporada durant la fase de fabricació.

Ramesh et al. [32] és l'autor d'un altre estudi que presenta una visió general sobre els estudis de ACV dels edificis que aclareix que la reducció de l'impacte mediambiental dels edificis podria ser fortament dependent de l'energia incorporada en els materials utilitzats durant la fase de fabricació.

En un estudi de cas esmentat per Thormark et al. [33], la contribució de l'energia continguda en la construcció d'un habitatge de baixa energia a Suècia representa el 40% de la necessitat d'energia total. Per tant, es veu que hi ha una gran diferència entre els percentatges de contribució de l'energia incorporada a la necessitat d'energia total en diferents casos. D'altra banda, diversos estudis de casos estudiats per Zabalza et al. [34] mostren que el percentatge de contribució de l'energia té una variació elevada d'un 9% a 46%. Es conclou que aquesta àmplia gamma en els resultats és degut a la varietat de la natura dels edificis, els materials, el temps de vida considerat i les condicions geogràfiques i climàtiques.

Les investigacions demostren que l'Anàlisi de Cicle de Vida és un mètode innovador, eficaç, recomanat i utilitzat en moltes situacions diferents i conegut de manera mundial. Són molts els articles publicats a nivell mundial sobre l'ACV, així que a continuació es poden agrupar alguns dels articles publicats i trobats al sistema de recerca.

Blengini et al. [35] va dur a terme un detallat ACV en una casa familiar de baixa energia, construïda al nord d'Itàlia, per tal de confirmar la seva sostenibilitat i eficiència energètica en l'estalvi constructiu. Es va observar que les matèries primeres tenen la major contribució relativa, però les operacions de manteniment també juguen un paper important, encara que cal tenir en compte que encara havia la necessitat de dades més fiables sobre la durada real del servei de diversos materials. També es va concloure que és important potenciar el reciclatge com una eina eficaç per disminuir els impactes del cicle de vida. Els resultats emfatitzen la necessitat de verificar sistemàticament l'acompliment ambiental de la construcció futura de baixa energia amb un enfocament holístic. L'energia i els esquemes de certificació ambiental, a Itàlia i a altres llocs, es beneficiarien de l'adopció d'un enfocament de cicle de vida, però cal tenir en compte que les simplificacions excessives, generalitzacions i la confiança cega dipositada en eines de fàcil ús i amb bases de dades no transparents segueixen sent una amenaça real per a un veritable desenvolupament sostenible.

Tanmateix, Nemry et al. [36] va fer una altra investigació relacionada amb una nova tipologia dels edificis representatius de la UE, en funció de la seva representativitat, la seva distribució geogràfica, la mida, la composició dels materials i l'aïllament tèrmic. Es va concloure identificant tres opcions de millora per als edificis ja existents: l'aïllament de la coberta addicional, l'aïllament de la façana addicional i les noves juntes per reduir la ventilació.

Zabalza et al. [37] va dur a terme un estat de la tècnica sobre l'ús de l'ACV al sector de la construcció, proporcionant una llista de les eines existents, dels conductors i les barreres, dels usuaris potencials i propòsits dels estudis en aquest sector. S'analitzen també les eines de simulació tèrmica considerades a les normes de construcció amb



certificació energètica espanyoles, i l'estudi es complementa amb una metodologia simplificada d'ACV per avaluar l'impacte de certes millores en el disseny de l'edifici. Aquest simplificat enfocament proposat permet fer comparacions globals entre l'energia incorporada i les emissions dels materials de construcció, i el consum d'energia i les emissions associades a l'etapa d'ús. S'arriba a la conclusió que a més de promoure l'ús de les energies renovables i equips d'alta eficiència energètica, s'ha de donar prioritat a la bioclimàtica i bioconstrucció d'ecodisseny, l'ús de baix impacte, materials naturals i reciclables disponibles a l'àrea local, la minimització de consum d'aigua el disseny de sistemes de captació d'aigües pluvials i les xarxes d'aigües grises en els edificis, el disseny dels sostres verds, etc.

Un altre estudi similar fet per Sharma et al. [38] consistia en revisar diversos edificis en diferents llocs, realitzar l'ACV i observar en quina fase del cicle de vida de l'edifici i en quin tipus de construcció es consumeix més energia i es tenen més gasos d'efecte hivernacle. Com a resultat es conclou que la fase operativa té el major percentatge (80-85%) del consum d'energia en el cicle de vida d'un edifici i que el sector de béns, ja sigui residencial o comercial, consumeix major energia i contribueix molt en el consum de combustibles fòssils i les emissions de diversos gasos perillosos que condueix a danys globals com el ODP, efecte hivernacle i l'acidificació, etc.

Trobem en Ortiz et al. [39] una descripció i un anàlisi de les diferències entre l'ACV dels materials de construcció i de les combinacions de components en comparació amb l'ACV del cicle de vida complet de construcció. Aquest treball pot ser utilitzat pels interessats com una referència important en ACV que inclou, fins a l'any de publicació, la literatura sobre els enfocaments i les metodologies per preservar el medi ambient i per tant, aconseguir un desenvolupament sostenible en els països desenvolupats i en desenvolupament.

S'han fet més estudis de Anàlisi de Cicle de Vida però amb una temàtica més particularitzada. En la temàtica de la construcció ecològica, Chan et al. [40] va revisar la situació del mercat de l'edificació verda en relació amb el mercat de la construcció en general i s'han investigat, des de la perspectiva dels arquitectes, les raons dels negocis de les parts interessades per invertir en el mercat dels edificis verds. Les dades són recollides per una enquesta que abasta als arquitectes a Hong Kong i Singapur. Els resultats suggereixen que les unitats significatives per a les parts interessades a tenir interessos en la inversió de la construcció ecològica són les intervencions governamentals, econòmiques i incentives, especialment reivindicatives. Aquest resultat de l'enquesta també van fer llum per a una millor comprensió del mercat de la construcció ecològica per a altres ciutats amb situacions econòmiques similars i orígens. Ortiz et al. [41] va ser un article important per a la temàtica dels residus de la construcció on es volia avaluar, mitjançant l'Avaluació de Cicle de Vida, els impactes ambientals de les deixalles de la construcció comparant tres escenaris diferents per a la gestió de residus de la construcció actual d'un estudi a Catalunya (Espanya): els abocadors, el reciclatge i la incineració. Van ser analitzats diferents indicadors típics del cicle de vida com ara el Potencial d'Escalfament Global (GWP), l'acidificació dels potencials, alguns indicadors d'ecoeficiència com ara el consum de recursos, energies renovables i no renovables i l'aigua.

Com a observació clara del present estudi és que el dipòsit de materials d'embalatge en abocadors s'ha d'evitar tant com sigui possible, ja que tots els tipus d'embalatge



influeixen en les diferents categories d'impacte i per tant, aquesta és la causa del gran impacte ambiental.

En el cas de les deixalles del procés de construcció, s'ha d'evitar tant com sigui possible l'abocament de metalls i plàstics ja que s'obté uns elevats impactes en les categories de toxicitat, mentre que l'abocament de la pedra ha de ser evitat per la gran quantitat generada d'aquests residus i els grans volums que ocupen en els abocadors. És important tenir en compte, que tot i que l'impacte ambiental corresponent al reciclatge de les deixalles dels resultats específics és un valor positiu (és a dir, un benefici net per al medi ambient), aquests impactes són sempre menors que els causats per l'abocament de dits residus i per tant el reciclatge serà sempre l'opció recomanada.

En el cas d'incineració dels residus de construcció, cal dir que els diferents indicadors suggereixen recomanacions diferents, com en el cas dels residus de plàstic que reben beneficis ambientals o perjudicis, en funció de l'indicador escollit. Per tant, les decisions finals sobre la incineració s'ha de prendre en compte de diversos factors, com la importància de les diferents categories d'impacte, juntament amb els aspectes econòmics i socials. Per a l'estudi del cas analitzat a Catalunya, cal dir que el reciclatge dels residus és l'opció recomanada, seguit per l'abocament i finalment, la incineració.

Un altre article interessant publicat d'ACV per Werner et al. [42] consisteix en la revisió de resultats d'aproximadament 20 anys d'investigació internacional sobre l'impacte ambiental del cicle de vida dels productes de fusta utilitzats en el sector de la construcció en comparació amb les productes d'altres materials amb equivalència funcional. Aquest treball es va obtenir a través d'una extensa revisió bibliogràfica, d'una consulta de les compilacions de ACV de productes de fusta i de la literatura secundària. La llista resultant es considera bastant completa i que cobreix els estudis originals més rellevants per a la comparació entre els productes de fusta al sector de la construcció de Europa, Amèrica del Nord i Austràlia.

La literatura existent estableix un marc fonamental per a la quantificació de l'impacte ambiental, però no s'ha arribat a conclusions globals respecte a les opcions de materials, estratègies de manteniment, vida de disseny, i altres polítiques per assolir els objectius de sostenibilitat. Per tal de quantificar l'empremta ambiental integral i l'orientació efectiva als esforços de sostenibilitat, han de ser estandarditzats les unitats funcionals, els límits dels sistemes d'expansió, la qualitat de les dades i amb major fiabilitat, i ampliar els àmbits d'estudi. Amb aquestes millores es podria col·locar la investigació d'ACV en una millor posició per liderar la indústria privada i les agències governamentals en els camins cap a l'èxit dels objectius de sostenibilitat. Santero et al. [43] fa aquest estudi i aquestes millores per a la temàtica dels paviments en la construcció.

Finalment, es pot trobar que Rice et al. [44] examina dotze dels principals programes europeus disponibles a l'any de publicació, 1997, de ACV per tal d'establir quins són els més apropiats en els processos industrials. La funció bàsica de tots els paquets analitzats en aquest informe és el mateix. L'única manera en què es difereixen és en el mètode, la velocitat, la flexibilitat i la informació que cada paquet té en realitzar aquesta funció. Inicialment, per a l'usuari tots els paquets seran difícils per treballar, ja que només serà després d'algun temps treballant amb un paquet que un usuari realment arriba a entendre com funciona.



Per la revisió i elecció dels millors programes es tenen en compte una sèrie de paràmetres com poden ser: l'origen europeu de tots els paquets, que siguin dissenyats per un ús general d'ACV, amb bases de dades que cobreixin una àmplia secció transversal dels materials i processos, estar relacionats amb una bona reputació i experiència passada del paquet de programari i el valor dels seus diners de compra. La conclusió general d'aquest estudi és que hi ha quatre paquets disponibles que ofereixen més avantatges sobre la resta enfront a la base industrial per l'ACV, enumerats a continuació:

- The Boustead model
- Ecobalance UK's TEAM TM
- SimaPro 3.1
- PEMS 3.0

Com a comentari d'aquest article, es pot dir que actualment hi ha una gran quantitat de programes nous i disponibles per l'estudi d'ACV, ja que en aquests anys les investigacions han seguit el seu curs i l'evolució de l'informàtica a millorat de forma elevada.



5.- DEFINICIONS I ABREVIATURES

En aquest capítol es relacionen totes les definicions i abreviatures que s'han utilitzat i el seu significat.

ACV .- Anàlisi de Cicle de Vida.

LCA .- Life Cycle Assessment, que traduït a la llengua catalana significa Anàlisi de Cicle de Vida i es pot trobat representat en aquest projecte com ACV.

LCI .- Life Cycle Inventory, que traduït a la llengua catalana significa anàlisi de l'inventari. Llista quantificada de tots els fluxos entrants i sortints d'un sistema durant tota la seva vida útil, els quals són extrets de l'ambient natural o bé emesos en ell, calculant els requeriments energètics i materials del sistema i l'eficiència energètica dels seus components, així com les emissions produïdes en cada un dels processos i sistemes.

LCIA .- Life Cycle Impact Assessment, que traduït a la llengua catalana significa l'avaluació dels impactes del cicle de vida. És l'anàlisi o avaluació del LCI.

SETAC .- Society of Environmental Toxicology and Chemistry, que traduït a la llengua catalana és una Societat de Toxicologia i Química Ambiental.

PCM .- Phase Change Materials, que traduït a la llengua catalana significa materials de canvi de fase.

CO₂ .- Diòxid de carboni (també anomenat biòxid de carboni o anhidrid carbònic). És un gas incolor, inodor, i insípid. La seva composició química és CO₂, tal i com es representa en el present projecte.

UE .- European Union.

EI99 .- Eco-Indicator 99.

State-of-the-art .- *State of the art*, expressió de l'anglès, fa referència al nivell més alt de desenvolupament aconseguit en un moment determinat sobre qualsevol aparell, tècnica o camp científic. En anglès, la frase va unida amb guions quan s'utilitza com adjectiu. En espanyol no es compleix aquesta convenció, encara que pot usar-se d'igual manera. Dintre d'un escrit acadèmic tècnic, es denomina *Estat de l'Art* a la base teòrica sobre la qual es basa l'escrit.



6.- REQUERIMENTS

En aquest apartat es presenta una explicació extensa i detallada sobre les bases i les dades de partida del projecte establerts per el client i pels que deriven de la legislació, reglamentació i normativa aplicables, també de l'emplaçament i del seu entorn socioeconòmic i ambiental, dels estudis realitzats encaminats a la definició de la solució adoptada i de les interfícies amb altres sistemes, elements externs al projecte o altres que condicionen les solucions tècniques.

6.1.- MATERIALS.

La construcció sostenible requereix determinats sistemes i materials que permetin la integració dels processos naturals del medi ambient en la construcció, com ara cobertes vegetades.

Les cobertes vegetades s'han consolidat en els darrers anys com un sistema de construcció que ofereix interessants avantatges mediambientals respecte a les solucions tradicionals, com la millora de la durabilitat dels materials d'impermeabilització que els protegeixen de la radiació solar, la millora de l'entorn urbà, el suport a la biodiversitat, la reducció de l'escorrentia superficial a les grans ciutats, i estalvi d'energia.

Particularment en aquest projecte, s'utilitzen materials no convencionals en el món de la construcció que aprofiten el procés de reciclatge dels materials, com són els pneumàtics.

La solució constructiva d'aquests sistemes de coberta s'ha dissenyat amb el propòsit de construir edificis sostenibles i respectuoses amb el medi ambient.

No obstant això, el disseny de les cobertes vegetades segueix basant-se en els materials convencionals com ara polipropilè o membranes geotèxtils de polièster, polietilè o panells de poliestirè, argila expandida, putzolana natural, i membranes bituminoses o PVC.

Com a exemple, un material utilitzat com a capa de drenatge comú és la pedra porosa o roca volcànica. En aquests sistemes, la majoria d'extracció d'àrids no s'efectua mitjançant els recursos energètics [45]. L'extracció d'aquests materials de pedra produeix un gran impacte ambiental, com la destrucció del paisatge, el dèficit en la gestió de residus i altres impactes derivats del seu processament posterior.

D'altra banda, en l'actualitat es produeixen un gran volum de productes de rebuig de difícil maneig. Un exemple clar són els encenalls de cautxú que van significar 3,2 milions de tones a l'any 2009 a la UE-27. Prop dels 2,6 milions de tones de pneumàtics fora d'ús final (ELTs) es van mantenir en el mercat de la UE per a la recuperació i el reciclatge. Cal trobar alternatives per a aquest problema, com el reciclatge i la reutilització d'aquests materials. L'ús dels encenalls de cautxú, com a capa de drenatge de les cobertes vegetades poden ser una bona manera de reutilitzar un material que actualment es considera un residu. En general, l'àrid derivat de pneumàtics (TDA) s'utilitza com a base per a carreteres i vies fèrries, com un reemplaçament de material de drenatge de sorra i grava, en la construcció de bases, sub-bases de carreteres, com a àrids en murs de contenció, murs i ponts, i com a aïllament acústic en carreteres. TDA és un 30-50% més lleuger, ofereix un aïllament vuit vegades major que la grava, i drena deu vegades millor que un sòl ben classificat [46]. Estudis preliminars mostren que l'ús



de cautxú reciclat de pneumàtics, o encenalls de cautxú, no és perillós per la salut humana o per al medi ambient [47]. La substitució dels materials porosos utilitzats actualment (per exemple, argila expandida, pissarra, la pedra putzolana, natural, etc.) i l'ús de cautxú a la capa de drenatge de les cobertes vegetades poden complir ambdós objectius: reduir el consum global de recursos naturals i la recuperació del que és actualment un residu. Els beneficis ambientals de l'ús de les encenalls de cautxú en els sostres verds poden ser quantificats a través de l'Avaluació del Cicle de Vida (ACV).

Vila et al. [48] considera l'estudi dels beneficis funcionals dels sostres verds i els avantatges de la seva pròpia construcció. Es va suggerir la possibilitat d'utilitzar els encenalls de cautxú com a capa de drenatge en els sostres verds en lloc dels materials porosos actualment utilitzats en algunes solucions comercials. Els resultats van mostrar que les engrunes de goma eren un bon substitut per als materials de pedra utilitzades com a capa de drenatge.

Pérez et al. [49] van estudiar la capacitat de drenatge de les molles de cautxú reciclades, i es va comparar la seva escorrentia d'aigua amb la putzolana. La nova capa drenant es va testear prèviament en safates per tal d'analitzar l'efecte de cautxú reciclat en el desenvolupament de les plantes. Es van estudiar diferents mides de partícules de molles de cautxú reciclat i es van comparar amb putzolana. S'observa que el comportament de les partícules de les molles de cautxú és similar al de la putzolana. Per tant, es pot utilitzar indistintament des del punt de vista de la funció de drenatge del sistema (substrat i capes de drenatge).

Menoufi et al. [50] va dur a terme l'ACV experimental d'edificis amb diferents solucions constructives (incloent diferents materials i PCM), amb l'objectiu d'assenyalar la solució constructiva més sostenible. D'altra banda, noves metodologies i mètodes de càlcul estan sota investigació i desenvolupament [51] i la influència d'algunes simplificacions estan sent investigades [52].

Aquest projecte tracta sobre l'estudi d'unes solucions constructives alternatives per tal de millorar l'eficiència energètica dels edificis actuals. Per estudiar i tenir resultats verídics s'utilitzen quatre construccions reals d'unes dimensions reduïdes i simbòliques per tal de trobar solucions adequades per a la sostenibilitat del medi ambient i el món de la construcció.

Els experiments van tenir lloc a Puigverd de Lleida, Espanya.

Lleida té un clima mediterrani sec classificat com continental, que es caracteritza per les seves grans variacions estacionals. Compta amb l'escassetat de precipitacions dividits en dues temporades, primavera i tardor, i té un règim termomètric amb grans diferències entre un llarg hivern (entre la primavera i el de l'última gelada pot prendre més de 160 dies) i un estiu molt calorós. La precipitació mitjana anual es troba entre 350 - 550 mm i la temperatura mitjana anual oscil·la entre els 12 - 14 ° C, amb amplituds tèrmiques de 17 - 20 ° C. Una característica és a la boira, típica de la regió en els mesos de novembre, desembre i gener, que es pot donar un període de fins a 55 dies en absència de llum solar. Aquest és un clima molt similar a la de la zona de Madrid, tenint pluja més anuals i menys dies de boira a l'any.

Tots els cubicles estudiats en aquest projecte tenen les mateixes característiques però es difereixen per alguna característica especial necessària per fer possible la investigació.

L'única diferència és el sistema de construcció i la composició de la coberta.

Les especificacions principals i idèntiques són les següents:



Les construccions experimentals per estudiar el comportament de les diferents solucions constructives tenen unes dimensions interiors de 2,4 x 2,4 x 2,4 m [53, 54]. Tots els cubicles tenen la mateixa orientació, 0° Sud, i no hi ha ombres a les seves façanes. Els seus fonaments estan formats per una base de formigó armat de 3,60 x 3,60 m. La base consisteix en una base de formigó armat de 3 x 3 m, i les parets presenten les següents capes des de dins cap a fora: revestiment de guix, termoargila (30 x 19 x 29 cm), i acabat de morter de ciment monocapa.

Vegeu el Document II.- Plànols, el plànols n° 1. Pla de situació i emplaçament i el plànol n° 2. Planta de distribució.

Per dur a terme la realització de l'Anàlisi de Cicle de Vida, s'ha d'analitzar les tres fases o etapes de vida de cadascú dels sistemes estudiats de la construcció experimental, les quals són la fabricació, el funcionament i l'eliminació.

Per avaluar la fase de funcionament i el rendiment tèrmic de cada sistema, s'extreuen les mesures reals del consum d'energia en cada cubicle de la construcció experimental. Per tal d'assolir aquests resultats, es registren les següents dades en intervals de 5 minuts per a cada cubicle:

- La temperatura interna de la paret (est, oest, nord, sud, sostre i terra) i també la temperatura externa de la paret sud.
- La temperatura interna i humitat de l'ambient (a una alçada de 1,5 m).
- Flux de calor al sostre (interior).
- El consum elèctric de la bomba de calor o el radiador elèctric.
- La radiació solar.
- Temperatura i humitat de l'ambient extern.

Totes les temperatures es van mesurar utilitzant Pt-100 DIN sondes B, calibrats amb un error màxim de $\pm 0,3$ ° C. Els sensors d'humitat de l'aire van ser ELEKTRONIK EE21FT6AA21 amb una precisió de $\pm 2\%$. Els sensors de flux de calor utilitzats van ser HUKSFLUX HFP01 amb una exactitud de $\pm 5\%$.

Totes les dades obtingudes s'acumulen en un sistema informàtic instal·lat a la mateixa parcel·la de Puigverd de Lleida (mostrat a la Figura 6) i així poder tractar-les posteriorment i obtenir els resultats de consum energètics que es poden trobar a l'**Annex 2. Consum energètic dels cubicles.**



Figura 6. Sistema informàtic instal·lat a una caseta de la parcel·la de Puigverd de Lleida per la recollida de dades.

El muntatge experimental ofereix la possibilitat de realitzar dos tipus de proves:

- Temperatura de lliure flotació, on no existeix un sistema de calefacció / refrigeració. Es comparen les condicions de temperatura en els cubicles.
- Control de la temperatura, on s'utilitza la bomba de calor a l'estiu i un radiador d'oli elèctric a l'hivern per ajustar la temperatura interna de la cel·la. El consum d'energia dels cubicles es compara amb els diferents punts establerts. Per abastar tot l'espectre dels resultats d'alguns experiments, es van realitzar utilitzant els punts d'ajust per sota del rang de confort (Rang experimental: 16 - 24 ° C. Rang de confort: 23 - 26 ° C a l'estiu i 20 - 24 ° C durant l'hivern).

El consum anual es divideix en tres períodes diferents:

- ✚ Període d'hivern: quatre mesos amb la demanda de calefacció similar a la 2^a setmana de febrer de 2012, del dia 7 al 13 de Febrer. Les condicions de confort s'aconsegueix utilitzant un radiador d'oli elèctric amb un punt d'ajust de 24 ° C.
- ✚ Període d'estiu: quatre mesos amb una demanda similar de refredament a la 2^a setmana de juliol de 2011, del dia 7 al 12 de Juliol. Les condicions de confort s'aconsegueix utilitzant una bomba de calor amb un punt d'ajust de 24 ° C.
- ✚ La primavera i la tardor: quatre mesos sense control de temperatura.

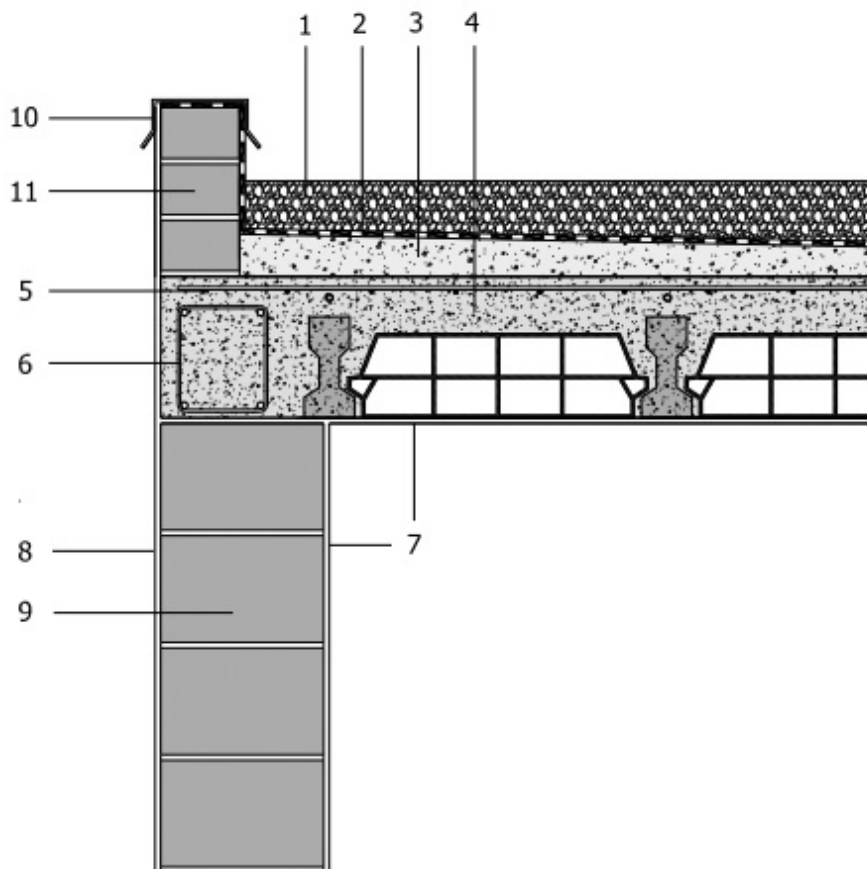
Vegeu els arxius utilitzats de les dades registrades per a cada cubicle a l'**Annex 2. Consum energètic dels cubicles (Taula 2.1 i 2.3).**

6.1.1.- CUBICLE GR – 40: CUBICLE AMB COBERTA PLANA ACABAT AMB GRAVA I FAÇANA VERDA.

A continuació, s'ofereix una detallada explicació i caracterització sobre el primer dels cubicles estudiats a la present investigació, el cubicle GR - "Gravel Roof Cubicle" denominat amb el nombre 40 al plànol de la instal·lació de tots els cubicles construïts a Puigverd de Lleida (Plànol n° 2. Planta de distribució).

En aquest cubicle a llarg termini es vol obtenir dades sobre el comportament de les façanes verdes en els edificis com un sistema passiu d'estalvi d'energia en un clima sec mediterrani continental. En el moment de realitzar els experiments, estava en un 50 % del seu creixement, per tant el seu efecte sobre les temperatures interiors es considera baix, i se'l pot atribuir a la coberta.

El cubicle GR – 40 es caracteritza per tenir un sostre convencional sense aïllament, però amb una làmina impermeable i acabat amb una sola capa de grava de gruix de 9 cm, i la façana verda de doble pell instal·lada a la façana sud del propi cubicle (Figura 7).



DETALL CONSTRUCTIU COBERTA

ESCALA 1/10

1. Grava
2. Doble làmina impermeable
3. Formigó alleugerit formació de pendents 2%
4. Forjat format per biguetes prefabricades de formigó i revoltons de formigó + 5 cm de formigó
5. Malla electrosoldada
6. Cèrcol perimetral d'acer
7. Revestiment interior de guix
8. Revestiment exterior morter (monocapa)
9. Termoargila 30x19x29 cm
10. Xapa de coronació de mur d'acer galvanitzat
11. Totxana perimetral

Figura 7. Detall constructiu del cubicle amb sostre de grava.

Vegeu el Document II.- Plànols, el plànol n° 4. Cubicle de coberta plana amb grava i façana verda GR – 40; on es troben totes les vistes d'alçat frontal, planta, planta de coberta, dues seccions i el detall constructiu de coberta del cubicle especificat en aquest apartat.

Per realitzar aquest experiment, van ser dissenyats i construïts quatre enreixats modulars preparats per donar cabuda a un jardí mitjançant unes jardineres situades a la part inferior (Figura 8).

La façana verda s'ha instal·lat en l'orientació sud. El substrat utilitzat és una barreja de substrat universal per a la jardineria i de terra vegetal. L'elecció de les espècies de plantes es va fer a partir d'una llista prèvia d'escaladors fets per al clima mediterrani continental. En la selecció, es van considerar importats i rellevants els següents aspectes: la resistència de les espècies, l'altura que pot assolir, la seva adaptació a créixer en l'espallera modular, i la disponibilitat en els viviers. Finalment, les espècies escollides van ser:

- Com a plantes perennes:
 - Heura (*Hereta helix*)
 - Lligabosc (*Lonicera japonica*)
- Com a plantes de fulla caduca:
 - Parra verge (*Parthenocissus quinquefolia*)
 - Vidalba (*Clematis* sp.)

Durant l'estiu de 2011, quan s'avalua el consum energètic de cada cubicle, la façana verda estava desenvolupada només parcialment, cobrint aproximadament el 50% de la façana sud de la cel·la.



Figura 8. Cubicle experimental amb una façana verda.

A continuació, es representa tots els elements i materials constructius utilitzats en la construcció del cubicle amb sostre de grava, GR – 40.

➤ Materials de sostre, enumerats de baix a d'alt:

COMPONENTS	QUANTITAT DE MATERIAL [kg]
Revestiment de guix	34.56
Bigues de formigó prefabricades	75.92
Revoltons de formigó	168.95
Cèrcols perimetrals	9.52
Barres d'acer corrugat exterior	20.81
Barres d'acer corrugat interior	18.68
Barres d'acer	14.87
Malla electrosoldada d'acer	40.88
Llosa de formigó	2,920.32
Formigó lleuger, formació de pendents	88.78
Doble membrana asfàltica	43.82
Grava	1,180.98
Maons perimetrals	336.06
Morter d'unió de maons	124.24
Xapa d'acer galvanitzat	41.82
Estructura metàl·lica d'acer	1.67

Taula 4. Inventari de materials de sostre per l'ACV del Gravel Roof Cubicle – GR (40).



- Materials de façana, enumerats d'interior cap a exterior:

COMPONENTS	QUANTITAT DE MATERIAL [kg]
Revestiment de guix	137.28
Termoargila	6,480
Morter d'unió de maons	673.81
Recobrint de morter de ciment - monocapa	686.25

Taula 5. Inventari de materials de façana per l'ACV de cada cubicle.

Vegeu l'Annex 3. Càlculs de l'Anàlisi de Cicle de Vida, que mostra com es calculen tots les dades de les taules anteriors, algunes aclaracions i d'on procedeixen les dades, i la definició exacta de cada material segons el BancBEDEC, Base de dades de ITEC (Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya) i les seves partides corresponents; **a l'apartat anomenat “Apartat I. Inventari de components”**.



6.1.2.- CUBICLE WTR – 35: CUBICLE AMB COBERTA VEGETADA AMB CAUTXÚ.

Es presenta un nou cubicle, característic pels materials utilitzats a la capa de substrat i drenatge.

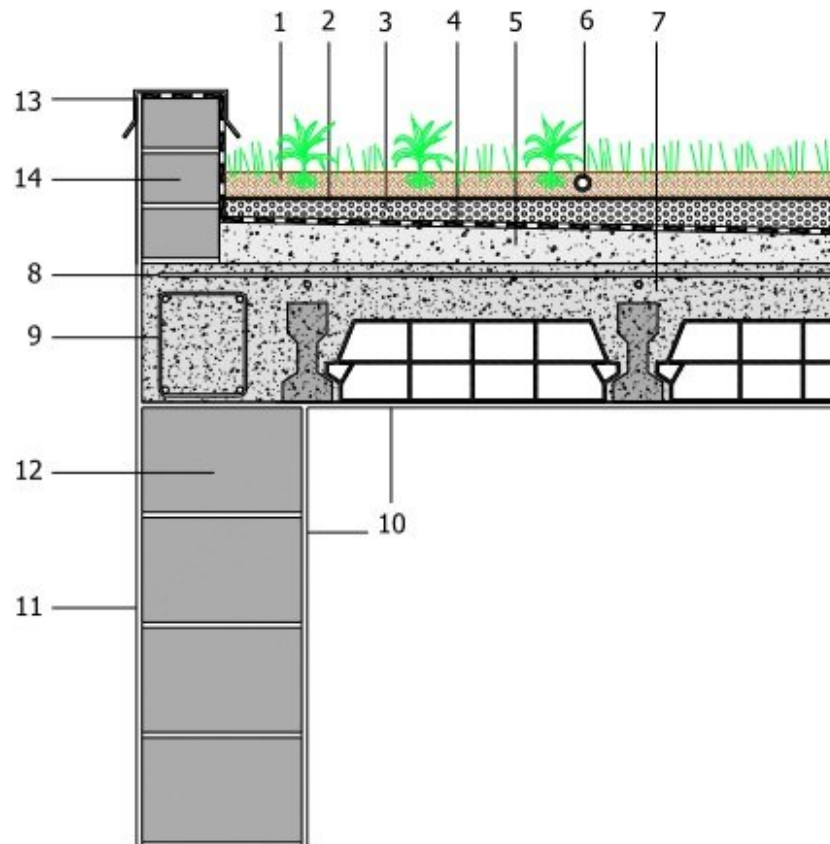
En estudis anteriors, va ser confirmada la possibilitat d'utilitzar les engrunes de goma en lloc de grava putzolana com a material de la capa de drenatge dels sostres verds extensius [48]. A més, també es va iniciar els primers estudis sobre el comportament tèrmic d'aquesta solució [49].

En general, es pot concloure que els sostres verds extensius pot ser una bona eina per estalviar energia durant l'estiu en el clima mediterrani continental. A més, és possible l'ús de molles de cautxú en lloc de putzolana com a material per a la capa de drenatge en sostres verds extensos i no hauria de sorgir cap problema per al seu bon funcionament. A partir d'aquí, iniciem el nostre estudi en un nou cubicle amb la característica d'utilitzar cautxú com a material de drenatge.

A continuació, s'ofereix una detallada explicació i caracterització sobre el segon dels cubicles estudiats a la present investigació, el cubicle WTR - “Green Waste Tires Roof Cubicle” denominat amb el nombre 35 al plànol de la instal·lació de tots els cubicles construïts a Puigverd de Lleida (Plànol n° 2. Planta de distribució).

El sistema utilitzat de coberta correspon a una coberta vegetada extensiva amb una capa de drenatge de 4 cm de cautxú reciclat (la mida de les partícules és entre 0,8 mm i 7 mm) col·locada directament sota la capa de substrat comercial (Sopraflor), de 5 cm de gruix [55] (Figura 9).

En aquest tipus de clima i per a cobertes verdes àmplies, es recomana l'existència de sistemes de reg durant els mesos d'estiu.



DETALL CONSTRUCTIU COBERTA

ESCALA 1/10

1. Substrat 'Sopraflor'
2. Capa de separació Ecran NTS 170
3. Drenatge 'Sopralithe'
4. Doble làmina impermeable
5. Formigó alleugerit formació de pendents 2%
6. Reg per Goteig
7. Forjat format per biguetes prefabricades de formigó i revoltons de formigó + 5 cm de formigó
8. Malla electrosoldada
9. Cèrcol perimetral d'acer
10. Revestiment interior de guix
11. Revestiment exterior morter (monocapa)
12. Termoargila 30x19x29 cm
13. Xapa de coronació de mur d'acer galvanitzat
14. Totxana perimetral

Figura 9. Detall constructiu del cubicle amb coberta vegetada.

Vegeu el Document II.- Plànols, el plànol n° 3. Cubicle de coberta vegetada: amb putzolana VGR – 30 i amb cautxú WTR – 35; on es troben totes les vistes d'alçat frontal, planta, planta de coberta, dues seccions i el detall constructiu de coberta del cubicle especificat en aquest apartat.

Generalment, les cobertes vegetades estan formades bàsicament (a partir de l'exterior a l'interior) per la vegetació, substrat, filtre, drenatge, protecció, barrera de l'arrel, i la capa d'impermeabilització [48].

- Els diferents tipus d'espècies de plantes que es van plantar als sostres són: Sedum, Lampranthus i Delosperma (Figura 10).
Com el reg és essencial durant l'estiu en aquest clima, es va instal·lar un sistema de reg senzill durant l'any 2011. També es va dur a terme la sembra de les plantes, les quals durant l'estiu de 2011 estaven només en el 20% del seu creixement total, mentre que durant l'hivern va ser del 100%.



Figura 10. Sostres experimentals amb un 20-25 % cobert per les plantes.

- La capa de substrat és el suport físic de les plantes que proporciona nutrients i ha de tenir la capacitat de retenir l'aigua, i es tracta de terra vegetal o terra de jardineria.
- La capa de filtre permet que l'aigua passi però no les partícules de substrat petites que puguin obstruir les cavitats en la capa de drenatge. Aquesta capa de filtre està generalment feta de polipropilè o de les membranes geotèxtils de polièster.
Aquesta capa de filtre no s'ha col·locat a la present coberta vegetada estudiada a causa de l'alt valor econòmic de les capes de protecció geotèxtils, i a més a més, no influeixen ni modifiquen el sistema de la coberta en l'estudi de ACV.

- La capa de drenatge proporciona un equilibri òptim entre l'aire i l'aigua en el sistema de sostre verd. Ha de ser capaç de retenir l'aigua quan plou, mentre que també ha de garantir un bon drenatge i l'aireig del substrat i les arrels.
Actualment s'utilitzen principalment dos tipus de capa de drenatge:
 - Panells de polietilè o poliestirè nodulars en la qual l'aigua s'acumula, alhora que permet evacuar l'excés d'aigua i assegurar una bona ventilació.
 - Materials de pedra porosa amb una certa capacitat de retenció d'aigua, com ara argila expandida, esquist expandit, putzolana tosca, natural, etc.

Aquests materials són cars, requereixen l'extracció de noves matèries primeres i aquesta extracció produeix un gran impacte ambiental com la destrucció del paisatge, el dèficit en la gestió dels residus i altres impactes derivats del seu processament posterior.

Per l'altra banda, també volem aprofitar per trobar una alternativa per a la recuperació i reciclatge per a alguns productes de rebuig amb gran volum i difícil maneig, com és el cas de els encenalls de cautxú, que alhora no és un producte perillós per al medi ambient ni per la salut humana.

Per tant es decideix col·locar un nou material com a capa de drenatge, el cautxú reciclat provinent de neumàtics usats.

La capa de drenatge de cautxú és un cautxú reciclat de pneumàtics fora d'ús, amb mides de partícules Ø 2-3,5 mm (R-Media) (Figura 11).

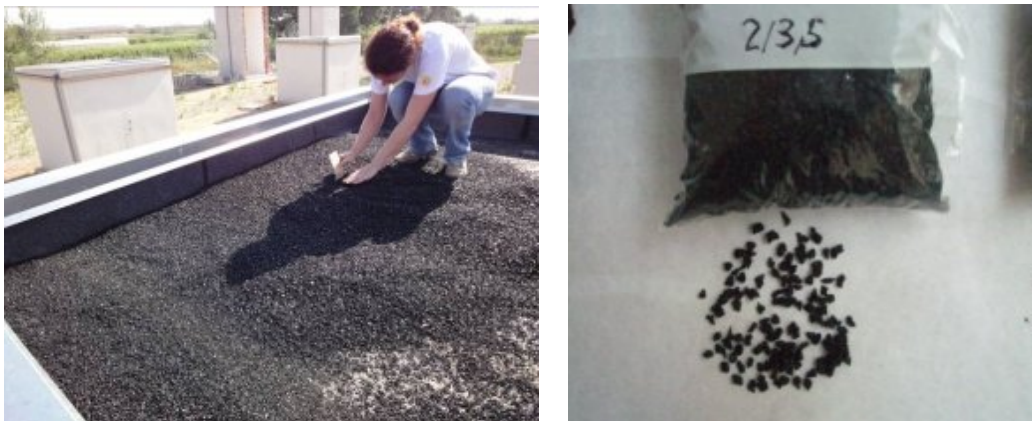


Figura 11. Capa de drenatge utilitzat en els sostres verds, vista de la capa de drenatge de cautxú i vista de goma de Ø 2-3,5 mm.

- La capa de protecció proporciona protecció mecànica de les capes inferiors, especialment per a la capa d'impermeabilització i es fa generalment de polipropilè geotèxtils o de les membranes de polièster.
Aquesta capa de protecció no s'ha col·locat a la present coberta vegetada estudiada perquè les proteccions geotèxtils encareixen molt el sistema, però en aquest cas sí que es considera al estudi d'ACV.

- La barrera de l'arrel i la capa d'impermeabilització protegeix l'edifici de les arrels i l'aigua. En general es fa d'asfalt o de membranes de PVC, reforçada amb polièster, fibra de vidre, plàstics, i els grànuls de minerals, però també hi ha algunes fetes amb cautxú sintètic o de polietilè [49].

La capa de barrera de l'arrel no s'ha col·locat a la present coberta vegetada estudiada perquè les proteccions geotèxtils no modifiquen el sistema de coberta

vegetada i a més encareixen molt el sistema. Però, la capa d'impermeabilització sí que s'ha col·locat a la construcció experimental, tal com es mostra a la Figura 12.



Figura 12. Membrana asfàltica de la coberta vegetada.



Figura 13. Muntatge experimental de Puigverd de Lleida, Espanya. De dreta a esquerra: cubicle de cautxú, putzolana, i grava.

A continuació, es representa tots els elements i materials constructius utilitzats en la construcció del cubicle amb coberta vegetada amb cautxú, WTR – 35.

➤ Materials de coberta, enumerats de baix a d'alt:

COMPONENTS	QUANTITAT DE MATERIAL [kg]
Revestiment de guix	34.56
Bigues de formigó prefabricades	75.92
Revoltons de formigó	168.95
Cèrcols perimetrals	9.52
Barres d'acer corrugat exterior	20.81
Barres d'acer corrugat interior	18.68
Barres d'acer	14.87
Malla electrosoldada d'acer	40.88
Llosa de formigó	2,920.32
Formigó lleuger, formació de pendents	88.78
Doble membrana asfàltica	43.82
Encenalls de cautxú 'Sopralithe' de drenatge	176.26
Capa de separació 'Ecran NTS 170'	0.88
Substrat 'Sopraflor'	367.21
Maons perimetrals	336.06
Morter d'unió de maons	124.24
Xapa d'acer galvanitzat	41.82

Taula 6. Inventari de materials de coberta per l'ACV del Green Waste Tires Roof Cubicle – WTR (35).



- Materials de façana, enumerats d'interior cap a exterior:

Representats a la Taula 5 d'aquest projecte.

Vegeu l'Annex 3. Càlculs de l'Anàlisi de Cicle de Vida, que mostra com es calculen tots les dades de les taules anteriors, algunes aclaracions i d'on procedeixen les dades, i la definició exacta de cada material segons el BancBEDEC, Base de dades de ITEC (Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya) i les seves partides corresponents; **a l'apartat anomenat “Apartat I. Inventari de components”**.

6.1.3.- CUBICLE VGR – 30: CUBICLE AMB COBERTA VEGETADA AMB PUTZOLANA.

Aquest cubicle és una còpia exacta de l'anterior cubicle amb coberta vegetada, però el present edifici és la segona alternativa per a l'estudi de sostres verds, la seva característica és utilitzar grava volcànica, exactament putzolana, com a material de drenatge en comptes de cautxú reciclat.

A continuació, s'ofereix una detallada explicació i caracterització sobre el tercer dels cubicles estudiats a la present investigació, el cubicle VGR - "Green Volcanic Gravel Roof Cubicle" denominat amb el nombre 30 al plànol de la instal·lació de tots els cubicles construïts a Puigverd de Lleida (Plànol nº 2. Planta de distribució).

El sistema utilitzat correspon a una coberta vegetada extensiva amb una capa de drenatge de 4 cm de putzolana (la mida de les partícules és entre 4 mm i 12 mm) directament sota la capa de substrat comercial (Sopraflor), de 5 cm de gruix [55] (Figura 9).

Vegeu el Document II.- Plànols, el plànol nº 3. Cubicle de coberta vegetada: amb putzolana VGR – 30 i amb cautxú WTR – 35; on es troben totes les vistes d'alçat frontal, planta, planta de coberta, dues seccions i el detall constructiu de coberta del cubicle especificat en aquest apartat.

Aquest cubicle es compon pel mateix sistema de coberta vegetada que el cubicle Green Waste Tires Roof Cubicle – WTR (35), així que també està format bàsicament (a partir de l'exterior a l'interior) per la vegetació (Figura 10), substrat, filtre, drenatge, protecció, barrera de l'arrel, i la capa d'impermeabilització (Figura 11) [48], exactament igual amb l'excepció que la capa de drenatge de grava volcànica és putzolana porosa amb mides de partícules de Ø 4/12 mm (Figura 14).

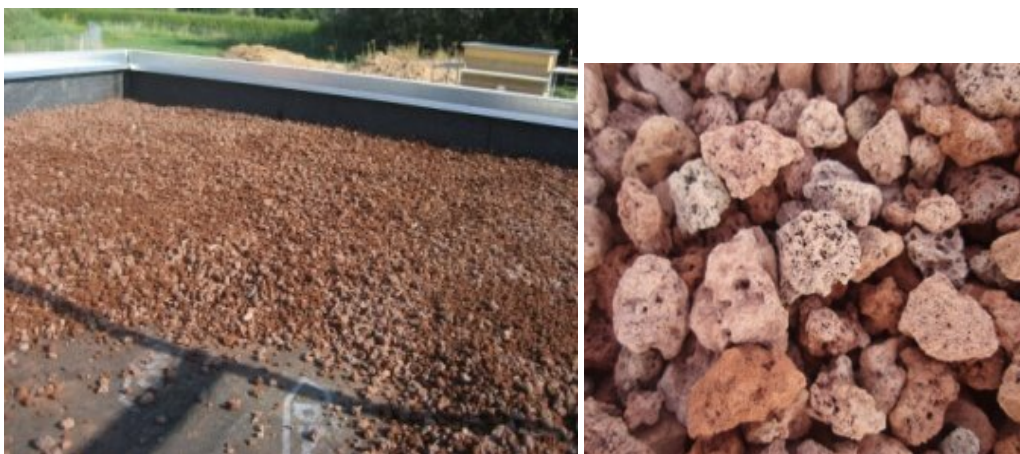


Figura 14. Capa de drenatge utilitzat en els sostres verds, vista de la capa de drenatge de putzolana i vista de grava putzolana.

A continuació, es representa tots els elements i materials constructius utilitzats en la construcció del cubicle amb coberta vegetada amb putzolana, VGR – 30.

- Materials de coberta, enumerats de baix a d'alt:

COMPONENTS	QUANTITAT DE MATERIAL [kg]
Revestiment de guix	34.56
Bigues de formigó prefabricades	75.92
Revoltons de formigó	168.95
Cèrcols perimetrals	9.52
Barres d'acer corrugat exterior	20.81
Barres d'acer corrugat interior	18.68
Barres d'acer	14.87
Malla electrosoldada d'acer	40.88
Llosa de formigó	2,920.32
Formigó lleuger, formació de pendents	88.78
Doble membrana asfàltica	43.82
Grava volcànica putzolana 'Sopralithe' de drenatge	240.89
Separació de capa 'Ecran NTS 170'	0.88
Substrat 'Sopraflor'	367.21
Maons perimetrals	336.06
Morter d'unió de maons	124.24
Xapa d'acer galvanitzat	41.82



Taula 7. Inventari de materials de coberta per l'ACV del Green Volcanic Gravel Roof Cubicle – VGR (30).

- Materials de façana, enumerats d'interior cap a exterior:

Representats a la Taula 5 d'aquest projecte.

Vegeu l'Annex 3. Càlculs de l'Anàlisi de Cicle de Vida, que mostra com es calculen tots les dades de les taules anteriors, algunes aclaracions i d'on procedeixen les dades, i la definició exacta de cada material segons el BancBEDEC, Base de dades de ITEC (Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya) i les seves partides corresponents; **a l'apartat anomenat “Apartat I. Inventari de components”**.

6.1.4.- CUBICLE RR – 210: CUBICLE AMB SOSTRE DE REFERÈNCIA.

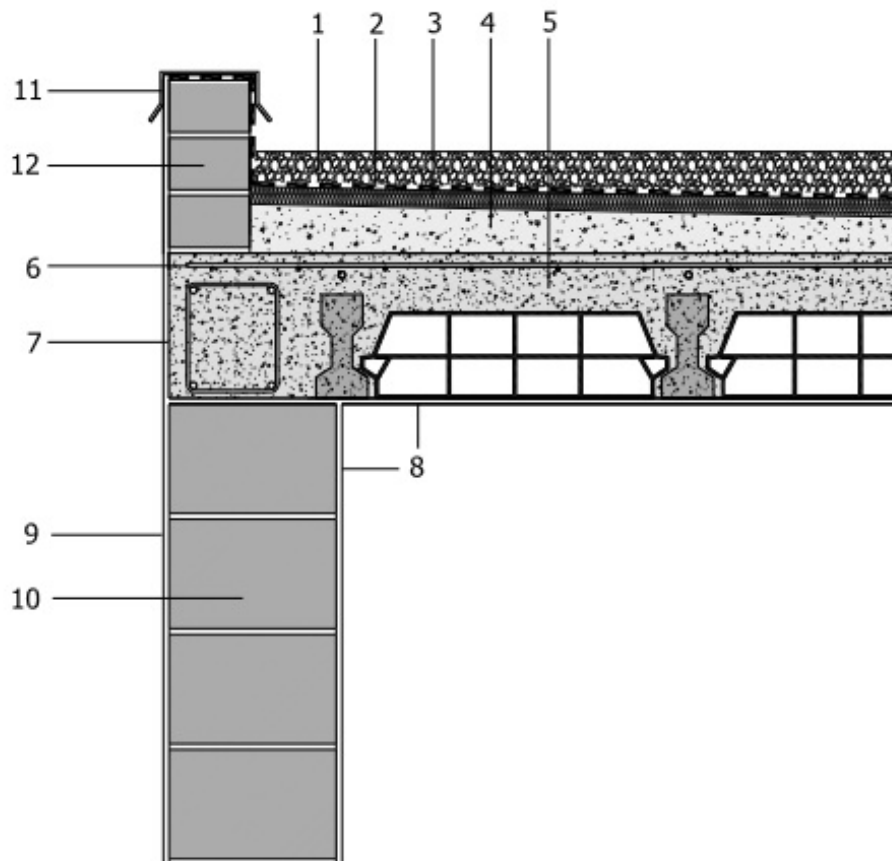
En aquest projecte es realitza l'Anàlisi de Cicle de Vida de tots els tres cubicles amb solucions constructives noves i diferents descrits anteriorment. Per fer possible aquest estudi, tots els edificis s'han de poder comparar amb un altre amb les mateixes característiques físiques però sense cap nova solució constructiva. Això dona lloc a l'últim cubicle de la present investigació amb un sostre de referència.



Figura 15. Casa cubicle situat a Puigverd de Lleida, Espanya.

S'ofereix una detallada explicació i caracterització sobre el quart dels cubicles estudiats, el cubicle RR - "Reference Roof Cubicle" denominat amb el nombre 210 al plànol de la instal·lació de tots els cubicles construïts a Puigverd de Lleida (Plànol n° 2. Planta de distribució).

El sistema es compon per una coberta convencional, amb aïllament de poliuretà de 3 cm de gruix, una fulla impermeable i acabat amb una sola capa de grava amb un gruix de 7 cm (Figura 16).



DETALL CONSTRUCTIU COBERTA

ESCALA 1/10

1. Grava
2. Doble làmina impermeable
3. Capa aïllament 3 cm de poliuretà
4. Formigó alleugerit formació de pendents 2%
5. Forjat format per biguetes prefabricades de formigó i revoltons de formigó + 5 cm de formigó
6. Malla electrosoldada
7. Cèrcol perimetral d'acer
8. Revestiment interior de guix
9. Revestiment exterior morter (monocapa)
10. Termoargila 30x19x29 cm
11. Xapa de coronació de mur d'acer galvanitzat
12. Totxana perimetral

Figura 16. Detall constructiu del cubicle amb sostre de referència.

Vegeu el Document II.- Plànols, el plànol nº 5. Cubicle de sostre de referència RR – 210; on es troben totes les vistes d'alçat frontal, planta, planta de coberta, dues seccions i el detall constructiu de coberta del cubicle especificat en aquest apartat.

A continuació, es representa tots els elements i materials constructius utilitzats en la construcció del cubicle amb coberta de referència, RR – 210.

- Materials de coberta, enumerats de baix a d'alt:

COMPONENTS	QUANTITAT DE MATERIAL [kg]
Revestiment de guix	34.56
Bigues de formigó prefabricades	75.92
Revoltons de formigó	168.95
Cèrcols perimetrals	9.52
Barres d'acer corrugat exterior	20.81
Barres d'acer corrugat interior	18.68
Barres d'acer	14.87
Malla electrosoldada d'acer	40.88
Llosa de formigó	2,920.32
Formigó lleuger, formació de pendants	88.78
Doble membrana asfàltica	43.82
Grava	1,180.98
Maons perimetrals	336.06
Morter d'unió de maons	124.24
Xapa d'acer galvanitzat	41.82
Poliuretà	9

Taula 8. Inventari de materials de coberta per l'ACV del Reference Roof Cubicle – RR (210).



- Materials de façana, enumerats d'interior cap a exterior:

Representats a la Taula 5 d'aquest projecte.

Vegeu l'Annex 3. Càlculs de l'Anàlisi de Cicle de Vida, que mostra com es calculen tots les dades de les taules anteriors, algunes aclaracions i d'on procedeixen les dades, i la definició exacta de cada material segons el BancBEDEC, Base de dades de ITEC (Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya) i les seves partides corresponents; **a l'apartat anomenat “Apartat I. Inventari de components”**.



7.- RESULTATS – ANÀLISI DE CICLE DE VIDA

En aquest capítol de la Memòria s'indiquen les diferents alternatives estudiades, quins camins s'han seguit per arribar-hi, i quina és la solució finalment triada juntament amb la seva justificació.

A mode de breu recordatori s'introdueix que l'Anàlisi de Cicle de Vida representa totes les entrades i sortides d'energia d'un edifici durant el seu cicle de vida complet, incloent la fabricació, l'ús, i les fases de demolició. L'objectiu de l'ACV és investigar la contribució relativa de les diferents fases del cicle de vida d'un producte o un procés a la càrrega ambiental.

L'ACV es defineix a la norma ISO 14040 [2], i estableix quatre passos interrelacionats:

- i. Definició d'objectius i abast.
- ii. Anàlisi d'inventari.
- iii. Avaluació de l'impacte.
- iv. La interpretació de cada pas.

Vegeu l'apartat 4.3.1. Metodologia – Anàlisi de Cicle de Vida, “Etapes existents”; es pot trobar una extensa explicació sobre cada un dels quatre casos esmentats anteriorment per dur a terme l'estudi d'ACV correctament.

A continuació, es desglossa i s'estudia l'ACV seguint aquests quatre apartats.

7.1.- DEFINICIÓ D'OBJECTIUS I ABAST.

L'objectiu global és realitzar un estudi de cicle de vida per avaluar les càrregues ambientals de les diferents solucions constructives de façana i sostre.

Els productes implicats són dos cubicles coberta vegetada però amb diferent capa de drenatge, i es comparen amb uns altres dos cubicles de referència amb coberta plana no transitable convencional acabada amb grava, un aïllat tèrmicament i l'altre sense aïllament tèrmic.

Els límits dintre de l'estudi de cicle de vida (ACV) són les tres etapes considerades:

- a. Fabricació.
- b. Funcionament.
- c. Eliminació.

Les dades necessàries per dur a terme aquest anàlisi es troben en l'apartat 6.- Requeriments, anteriorment exposat.



7.2.- ANÀLISI DE L'INVENTARI.

En aquest estudi d'ACV, es mesuren els impactes ambientals amb el punt indicador d'impacte ecològic donat per l'indicador Eco 99 (EI99), extret de la base de dades Ecoinvent 2009 [56].

Vegeu les dades utilitzades de la base de dades Ecoinvent utilitzada a l'**Annex 1. Base de dades Ecoinvent 2009**.

D'acord amb la base de dades Ecoinvent, l'inventari de cicle de vida dels materials de construcció es detalla a la Taula 9 per a la fase de fabricació i d'eliminació, on la dada inicial per dur a terme l'ACV són els kilograms de cada material utilitzat en els edificis. Per la fase de funcionament, només es tenen en compte les mesures reals del consum d'energia de cada cubicle per a la calefacció i refrigeració, agafant com a dada inicial per dur a terme l'ACV, els kilowatts hora del consum elèctric energètic per a tots els anys suposats de vida d'un edifici.

Les hipòtesis utilitzades per a l'Avaluació del Cicle de Vida en tots els escenaris estudiats són:

-  El temps de vida esperat per a un edifici a Catalunya és de 80 anys.
-  L'electricitat utilitzada considera la barreja de producció corresponent al sistema de producció energètica espanyola (# 674 a la base de dades Ecoinvent).

RR -210	GR -40	VGR -30	WTR -35	Components	Fabricació		Eliminació	
					Nom EI99	Quantitat	Nom EI99	Quantitat
Façana								
X	X	X	X	Termoargila	Brick, at plant, RER, [kg] (#495)	6,480 kg	Disposal, building, brick, to final disposal, CH, [kg] (#2005)	6,480 kg
X	X	X	X	Recobrimet de morter de ciment (monocapa)	Cement mortat, at plant, CH, [kg] (#537)	686 kg	Disposal, building, cement (in concrete) and mortat, to final disposal, CH, [kg] (#2007)	686 kg
X	X	X	X	Mortet d'unió de maons	Cement mortat, at plant, CH, [kg] (#537)	674 kg	Disposal, building, cement (in concrete) and mortat, to final disposal, CH, [kg] (#2007)	674 kg
X	X	X	X	Revestiment de guix	Base plaster, at plant, CH, [kg] (#536)	137 kg	Disposal, building, mineral plaster, to final disposal, CH, [kg] (#2021)	137 kg

Coberta

X	X	X	X	Revestiment de guix	Base plaster, at plant, CH, [kg] (#536)	35 kg	Disposal, building, mineral plaster, to final disposal, CH, [kg] (#2021)	35 kg
X	X	X	X	Bigues de formigó prefabricades	Concrete block, at plant [kg] (#506)	76 kg	Disposal, building, reinforced concrete, to final disposal, CH, [kg] (#2045)	3254 kg
X	X	X	X	Revoltons de formigó	Concrete block, at plant [kg] (#506)	169 kg		
X	X	X	X	Formigó	Concrete, normal, at plant, CH, [m3] (#504)	1.51 m ³		
X	X	X	X	Barres d'acer	Reinforcing steel, at plant, RER, [kg] (#1141)	105 kg	Disposal, building, reinforcement steel, to final disposal, CH, [kg] (#2048)	105 kg
X	X	X	X	Doble membrana asfàltica	Mastic asphalt, at plant, CH, [kg] (#9245)	44 kg	Disposal, asphalt, 0.1% water, to sanitary landfill, CH, [kg] (#2216)	44 kg
X	X	X	X	Maons perimetrals	Brick, at plant, RER, [kg] (#495)	336 kg	Disposal, building, brick, to final disposal, CH, [kg] (#2005)	336 kg
X	X	X	X	Morter d'unió de maons	Cement mortar, at plant, CH, [kg] (#537)	124 kg	Disposal, building, cement (in concrete) and mortar, to final disposal, CH, [kg] (#2007)	124 kg
X	X	X	X	Xapa d'acer galvanitzat	Tin plated chromium steel sheet, 2 mm, at plant [m ²] (#7125)	3.8 m ²	Disposal, building, reinforcement steel, to recycling [kg] (#2156)	42 kg
X	X			Grava	Gravel, crushed, at mine [kg] (#463)	1,181 kg	Disposal, building, concrete gravel, to final disposal [kg] (#2009)	1,181 kg
		X		Grava volcànica putzolana (drenatge)	Gravel, crushed, at mine [kg] (#463)	241 kg	Disposal, building, concrete gravel, to recycling [kg] (#2146)	241 kg
			X	Encenalls de cautxú (drenatge)	Synthetic rubber, at plant [kg] (#1847)	176 kg	Disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration [kg] (#2121)	176 kg
		X	X	Capa de separació	Polypropylene, granulate, at plant [kg] (#1834)	0.88 kg	Disposal, building, polyethylene/polypropylene products, to final disposal [kg] (#2038)	0.88 kg
		X	X	Substrat	Compost, at plant [kg] (#58)	367 kg	Disposal, building, concrete gravel, to recycling [kg] (#2146)	367 kg
	X			Estructura metàl·lica d'acer	Section bar rolling, steel, RER, [kg] (#1170)	1.67 kg	Disposal, building, reinforcement steel, to recycling [kg] (#2156)	1.67 kg
X				Poliuretà	Polyurethane, rigid foam, at plant, RER, [kg] (#1839)	9 kg	Disposal, building, polyurethane foam, to final disposal, CH, [kg] (#2040)	9 kg



Taula 9. Inventari de la llista dels components utilitzats en la construcció dels cubicles, distingint entre les cobertes i façanes, i el nom corresponent a la base de dades EcoInvent99 per a les fases de fabricació i eliminació.

Vegeu una versió més extensa i detallada de la Taula 9 a l'Annex 3. Càlculs de l'Anàlisi de Cicle de Vida, als apartats anomenats “Apartat II. LCA_Fase de fabricació” i “Apartat IV. LCA_Fase d'eliminació”.

7.3.- AVALUACIÓ DE L'IMPACTE.

Com a mode de recordatori s'ha de esmentar que l'EI99 divideix l'anàlisi d'impacte en 10 categories d'impacte que estan agrupades en tres categories de dany diferents:

- ✓ La qualitat del sistema ecològic, que inclou l'acidificació i l'eutrofització, l'ecotoxicitat i l'ocupació de la terra.
- ✓ La salut humana, que inclou cancerígens, el canvi climàtic, la radiació ionitzant, l'esgotament de la capa d'ozó i els efectes respiratoris.
- ✓ Els recursos, que inclou als combustibles fòssils i l'extracció de minerals.

Finalment, aquestes tres categories de dany s'agreguen en un indicador únic [57].

Anteriorment, s'havia esmentat aquesta classificació a l'apartat 4.3.2.- Eco – Indicador 99 d'aquest projecte, i més específicament a la Taula 3.

Vegeu l'Annex 3. Càlculs de l'Anàlisi de Cicle de Vida, als apartats anomenats “Apartat II. LCA_Fase de fabricació”, “Apartat III. LCA_Fase de funcionament” i “Apartat IV. LCA_Fase d'eliminació”; on es troben els càlculs interns per a cada fase de l'estudi d'ACV i tots els valors resultants obtinguts.

7.4.- INTERPRETACIÓ I RESULTATS.

En aquest apartat de la Memòria es mostra els resultats obtinguts amb l'Anàlisi de Cicle de Vida i les conclusions obtingudes i recomanacions per a la presa de decisions.

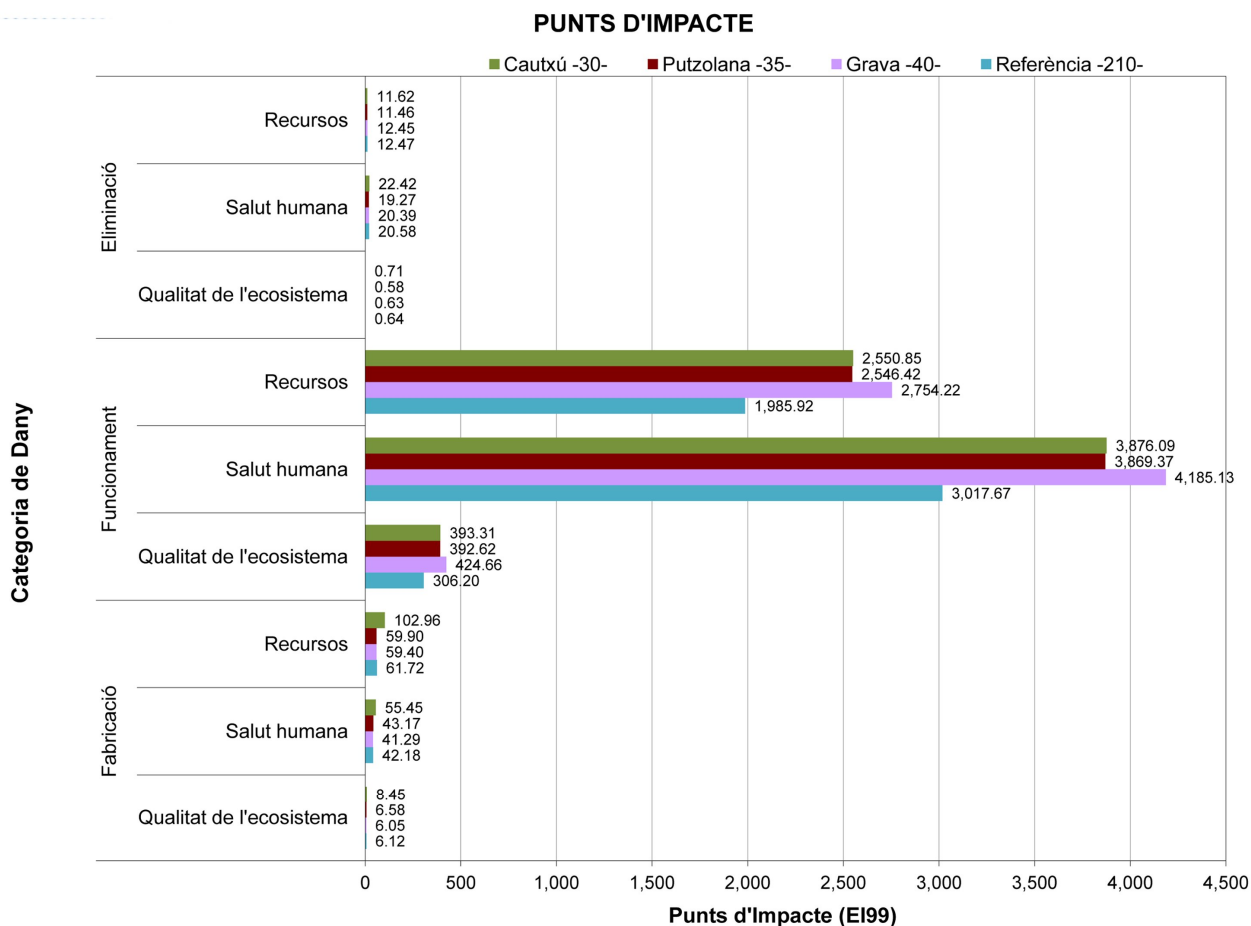
7.4.1.- RESULTATS GENERALS DE L'INVENTARI DE CICLE DE VIDA.

L'Anàlisi de Cicle de Vida ha considerat les fases de fabricació, de funcionament i d'eliminació dels sostres i parets en els quatre cubicles experimentals. Els punts d'impacte per a cada categoria de dany es mostren a la Taula 10.

FASE	CATEGORIA	COBERTA CONVENCIONAL		COBERTA VERDA	
		RR - 210	GR - 40	VGR - 30	WTR - 35
<i>Fabricació</i>	Qualitat dels ecosistemes	6.12	6.05	6.58	8.45
	Salut humana	42.18	41.29	43.17	55.45
	Recursos	61.72	59.40	59.90	102.96
	Sub-total	110.02	106.75	109.66	166.86
<i>Funcionament</i>	Qualitat dels ecosistemes	306.20	424.66	392.62	393.31
	Salut humana	3,017.67	4,185.13	3,869.37	3,876.09
	Recursos	1,985.92	2,754.22	2,546.42	2,550.85
	Sub-total	5,309.79	7,364.01	6,808.41	6,820.25
<i>Eliminació</i>	Qualitat dels ecosistemes	0.64	0.63	0.58	0.71
	Salut humana	20.58	20.39	19.27	22.42
	Recursos	12.47	12.45	11.46	11.62
	Sub-total	33.68	33.46	31.32	34.75
Total		5,453.49	7,504.21	6,949.38	7,021.85

Taula 10. Resultats d'impacte durant les fases de fabricació, funcionament, i d'eliminació.

Per representar els resultats d'impacte per a cada categoria de dany d'una forma més visual i ràpida, s'introdueixen les dades en una gràfica de barres (Gràfica 1):



Gràfica 1. Representació dels punts d'impacte de les tres categories de dany considerades en les tres fases de cicle de vida.

Com s'observa als resultats, la fase de fabricació és la segona fase amb més quantitat d'impacte, aproximadament resulta un impacte del 2 % respecte del total, on perjudica més a l'esgotament dels recursos, seguit pel dany a la salut humana i finalment, amb el menor impacte, el dany a la qualitat dels ecosistemes. En aquesta fase, els quatre cubicles tenen resultats d'impacte molt similars, encara que el cubicle amb coberta vegetada amb cautxú és el que obté resultats d'impacte més elevats mentre que els altres tres cubicles no tenen variacions considerades.



Considerant la fase de funcionament, es pot dir que és la fase que més influeix en els resultats d'impacte respecte el impacte total de cada cubicle, ja que aquesta fase representa aproximadament el 97 % de l'impacte total. A diferència de la fase anterior, el cubicle que genera més impacte operacional és el cubicle amb coberta plana convencional amb grava, aquest fet es produeix per falta de aïllament en aquest cubicle. En aquesta fase, els dos cubicles amb coberta vegetada es comporten de forma quasi idèntica, mentre que el cubicle amb coberta de referència és el que obté menors resultats d'impacte. La categoria més impactant és el dany a la salut humana, seguida de l'esgotament dels recursos i finalment, el dany a la qualitat dels ecosistemes. Finalment, la fase amb menor impacte respecte l'impacte general és la fase d'eliminació que només considera un 1 % de l'impacte total de cada cubicle. En aquesta fase la categoria amb major impacte és el dany a la salut humana, seguida de l'esgotament als recursos i finalment, amb uns valors insignificants, el dany a la qualitat dels ecosistemes. En la fase d'eliminació es troba que el cubicle amb millor qualitat per eliminar-se és el cubicle amb coberta vegetada amb putzolana, encara que els quatre cubicles obtenen uns resultats molt similars entre ells.

Observant els resultats totals, si fem la comparació de les dos cobertes vegetades amb el cubicle GR (40), s'observa que les cobertes vegetades tenen uns percentatges d'impactes menors, un 7 % per al cubicle amb putzolana i un 6 % per al cubicle amb cautxú. Aquesta dada és interessant perquè el cubicle GR (40) no està aïllat tèrmicament i al fer la mateixa comparació de les cobertes vegetades respecte el sostre de referència RR (210) aïllat tèrmicament es pot observar la millora d'impacte, ja que el cubicle amb coberta vegetada amb putzolana supera l'impacte del sostre de referència en un 27 % i el cubicle amb coberta vegetada amb cautxú en un 29 %. Considerant que les cobertes vegetades no estan aïllades, aquests resultats són molt positius.

El cubicle amb coberta de grava té l'impacte més alt de tots, un 38% respecte al cubicle de referència. Aquest fenomen és degut a l'existència d'aïllament tèrmic en aquest cubicle i comporta un estalvi energètic important en la fase de funcionament. Aquesta fase és molt important ja que representa al voltant del 97 % dels punts d'impacte del total en tots els cubicles. Els punts més alts d'impacte es troben en la fase operativa: 55% són a causa del dany en la salut humana i el 35% d'esgotament dels recursos.

Vegeu l'Annex 3. Càlculs de l'Anàlisi de Cicle de Vida; on es troben tots els càlculs interns que han sigut necessaris per arribar a aquests valors resultants obtinguts i algunes taules representatives.

7.4.2.- INVENTARI DE CICLE DE VIDA EN LA FASE DE FABRICACIÓ.

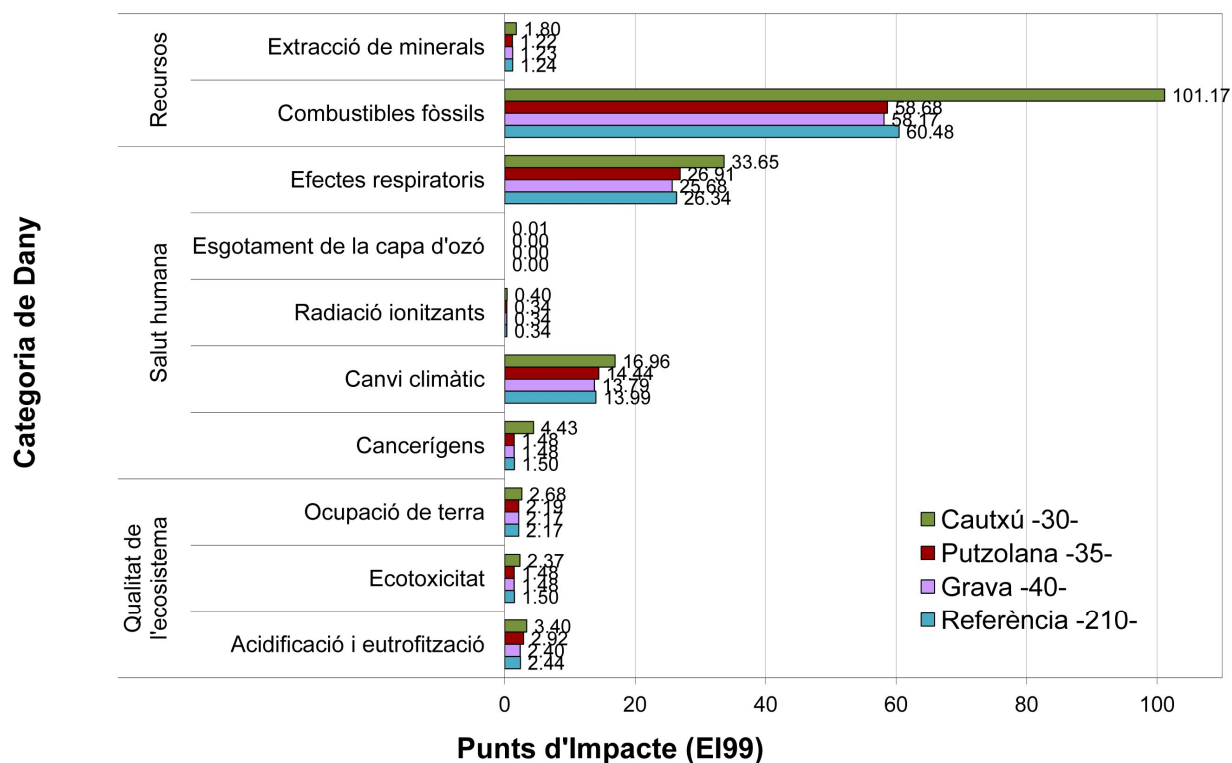
Els punts d'impacte obtinguts en la fase de fabricació es mostren el la següent Taula 11:

Categoria de dany	Factors d'impacte	Coberta convencional		Coberta vegetada	
		Referència -210-	Grava -40-	Putzolana -35-	Cautxú -30-
<i>Qualitat de l'ecosistema</i>	Acidificació i eutrofització	2.44	2.40	2.92	3.40
	Ecotoxicitat	1.50	1.48	1.48	2.37
	Ocupació de terra	2.17	2.17	2.19	2.68
<i>Salut humana</i>	Cancerígens	1.50	1.48	1.48	4.43
	Canvi climàtic	13.99	13.79	14.44	16.96
	Radiació ionitzants	0.34	0.34	0.34	0.40
	Esgotament de la capa d'ozó	0.00	0.00	0.00	0.01
	Efectes respiratoris	26.34	25.68	26.91	33.65
<i>Recursos</i>	Combustibles fòssils	60.48	58.17	58.68	101.17
	Extracció de minerals	1.24	1.23	1.22	1.80
Total		110.02	106.75	109.66	166.86

Taula 11. Resultats d'impacte durant la fase de fabricació.

Per representar els resultats d'impacte per a cada categoria de dany d'una forma més visual i ràpida, s'introdueixen les dades en una gràfica de barres (Gràfica 2):

PUNTS D'IMPACTE DE FABRICACIÓ



Gràfica 2. Representació dels punts d'impacte de les tres categories de dany considerades en la fase de fabricació.

Considerant a grans trets tots els factors d'impacte estudiats, s'observa que no hi ha massa variacions entre alguns dels factors d'impacte analitzats, com són l'acidificació i eutrofització, l'ecotoxicitat, l'ocupació de terra, els cancerígens, la radiació d'ionitzants, l'esgotament de la capa d'ozó i l'extracció de minerals, que comporten un impacte des de 0 % al 3% respecte l'impacte total a la fase de fabricació.

El factor d'impacte estudiat amb més importància és els combustibles fòssils (amb un 55 % de l'impacte total de la fase), seguit dels efectes respiratoris en un 24 % i en tercera posició d'importància es troba el factor del canvi climàtic en un 12 % respecte l'impacte total de la fase.

Els punts d'impacte de fabricació dels cubicles amb coberta de referència, amb coberta amb grava i amb coberta vegetada amb putzolana són molt similars.

La solució constructiva amb el menor impacte és el cubicle amb coberta amb grava, 3% menor que el de referència, a causa de la utilització de materials de menor consum d'energia i la inferior massa total.

El cubicle amb coberta vegetada amb putzolana té un impacte només 0,3% menor que el de referència, el que denota una millora molt petita en l'impacte de fabricació d'aquesta solució constructiva.

En contrast, l'impacte del cubicle amb coberta vegetada amb cautxú és 52% més alt que el de referència. Aquests resultats corresponen a un cas pitjor, perquè el Eco – Indicador EI99 només ofereix la possibilitat de considerar els encenalls de cautxú reciclat com a material de goma nova, en lloc de considerar els avantatges d'utilitzar un material recuperat de les deixalles. Com a conseqüència, l'impacte dels combustibles fòssils, dels recursos i dels efectes respiratoris en la salut humana són significatius en aquest cubicle amb cautxú.

A la literatura existent sobre l'ACV de plàstics reciclats s'ha trobat que el reciclatge de plàstics té punts d'impacte negatius en els resultats dels beneficis ambientals [58]. Si no es desenvolupa una nova partida a l'Eco – Indicador EI99 per als encenalls de cautxú reciclats, una primera aproximació per considerar el benefici de reciclatge seria suposar un impacte zero per a les molles de cautxú reciclat. En aquest escenari, l'impacte del cautxú és gairebé el mateix que la putzolana (tenint en compte l'impacte putzolana amb grava # 463).

Vegeu l'Annex 3. Càlculs de l'Anàlisi de Cicle de Vida, a l'apartat anomenat “Apartat II. LCA_Fase de fabricació”; on es troba les taules amb els càlculs interns per a la fase de fabricació de cada categoria de dany per als quatre cubicles.

7.4.3.- INVENTARI DE CICLE DE VIDA EN LA FASE DE FUNCIONAMENT.

L'impacte durant la fase de funcionament dels cubicles analitzats es basa en els consums d'energia mesurats per a calefacció i refrigeració.

Els resultats del consum d'energia tant per a l'hivern i per a l'estiu a les cobertes convencionals i vegetades s'expressen a la Taula 12.

Període	Coberta convencional		Coberta verda	
	RR - 210	GR - 40	VGR - 30	WTR - 35
Estiu (120 dies)	226	214	192	218
Hivern (120 dies)	2,096	3,006	2,785	2,764
Total (365 dies)	2,322	3,220	2,977	2,982

Taula 12. Consum d'energia elèctrica per a cada cubicle (unitats: kWh).

Vegeu l'Annex 2. Consum energètic dels cubicles. per veure tots els passos fets per arribar a obtenir els resultats de la anterior Taula 12.

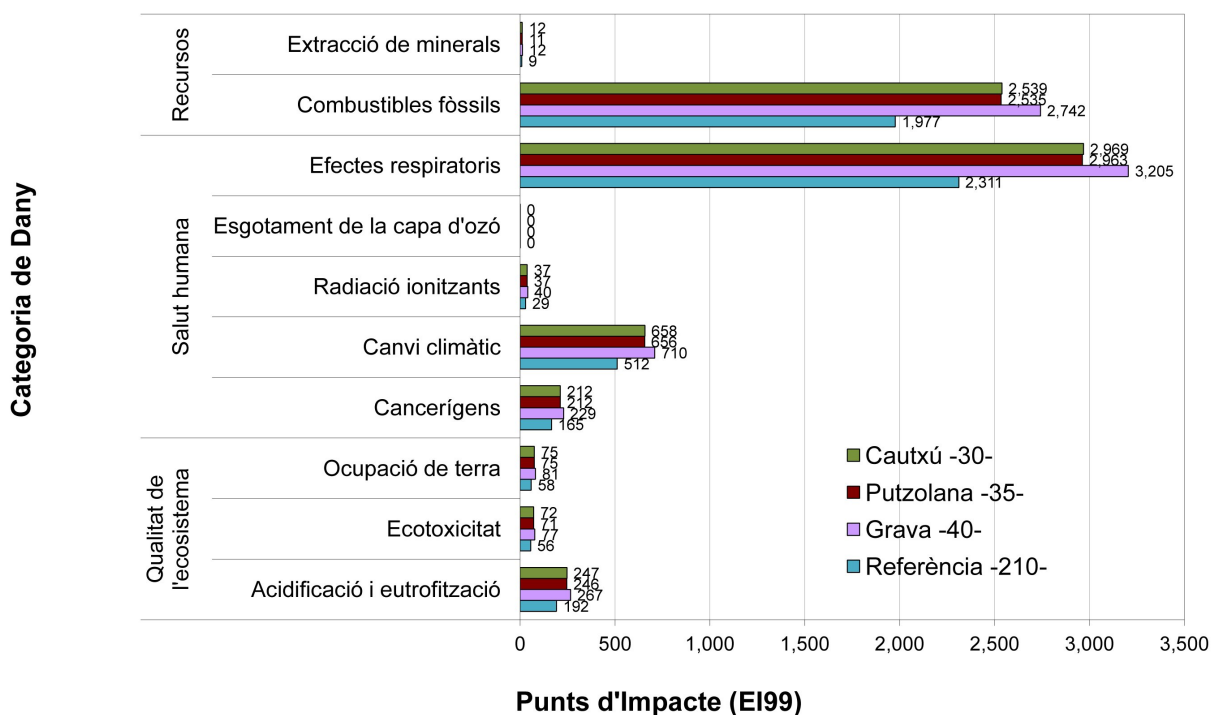
A continuació, es mostra la Taula 13 amb els punts d'impacte obtinguts en la fase de funcionament:

Categoria de dany	Factors d'impacte	Coberta convencional		Coberta vegetada	
		Referència -210-	Grava -40-	Putzolana -35-	Cautxú -30-
<i>Qualitat de l'ecosistema</i>	Acidificació i eutrofització	192	267	246	247
	Ecotoxicitat	56	77	71	72
	Ocupació de terra	58	81	75	75
<i>Salut humana</i>	Cancerígens	165	229	212	212
	Canvi climàtic	512	710	656	658
	Radiació ionitzants	29	40	37	37
	Esgotament de la capa d'ozó	0	0	0	0
	Efectes respiratoris	2,311	3,205	2,963	2,969
<i>Recursos</i>	Combustibles fòssils	1,977	2,742	2,535	2,539
	Extracció de minerals	9	12	11	12
Total		5,310	7,364	6,808	6,820

Taula 13. Resultats d'impacte durant la fase de funcionament.

Per representar els resultats d'impacte per a cada categoria de dany d'una forma més visual i ràpida, s'introdueixen les dades en una gràfica de barres (Gràfica 3):

PUNTS D'IMPACTE DE FUNCIONAMENT



Gràfica 3. Representació dels punts d'impacte de les tres categories de dany considerades en la fase de funcionament.

En condicions d'estiu, les cobertes vegetades milloren l'estalvi d'energia en un 15% (cubicle amb putzolana) i un 4% (cubicle amb cautxú) respecte el cubicle de referència.

En condicions d'hivern, les cobertes vegetades empitjoren l'estalvi d'energia, ja que consumeixen un 33% (cubicle amb putzolana) i un 32% (cubicle amb cautxú) més d'energia en comparació amb el cubicle de referència.

En el consum total de l'any, els cubicles amb cobertes vegetades consumeixen més energia que el cubicle de referència, un 28% superior. I el cubicle amb coberta plana convencional acabada amb grava és el que consumeix major quantitat d'energia, un 4% menys durant el període d'estiu, però un 43% més durant el període d'hivern.

Observant els factors d'impacte considerats en aquest estudi, veiem que té major influència els efectes respiratoris en un 43 % respecte de l'impacte total, seguit dels



combustibles fòssils en un 37 %. També té bastant influència el canvi climàtic amb un 9 % d'impacte respecte del total, i la resta de factors tenen un percentatge d'influència d'impacte respecte del total en la següent escala: acidificació i eutrofització, cancerígens, ocupació de terra, ecotoxicitat, radiació d'ionitzants, extracció de minerals i finalment, l'esgotament de la capa d'ozó.

L'estalvi d'energia representa el mateix augment en els punts d'impacte de funcionament de les dos cobertes vegetades davant la coberta de referència. Els dos cubicles amb coberta vegetada tenen resultats d'impacte similars, amb un 28 % superior respecte el cubicle RR (210). Mentre que el cubicle amb coberta amb grava té l'impacte més elevat, exactament supera al cubicle amb coberta de referència amb un 39 % d'impacte. Els punts de major impacte en els quatre edificis es troben en l'ús dels recursos de combustibles fòssils, la qual cosa implica un impacte significatiu en la salut humana a causa dels danys respiratoris.

Vegeu l'Annex 3. Càlculs de l'Anàlisi de Cicle de Vida, a l'apartat anomenat "Apartat III. LCA_Fase de funcionament"; on es troben totes les taules dels punts d'impacte per a la fase operativa de cada categoria de danys per als quatre cubicles.

7.4.4.- INVENTARI DE CICLE DE VIDA EN LA FASE D'ELIMINACIÓ.

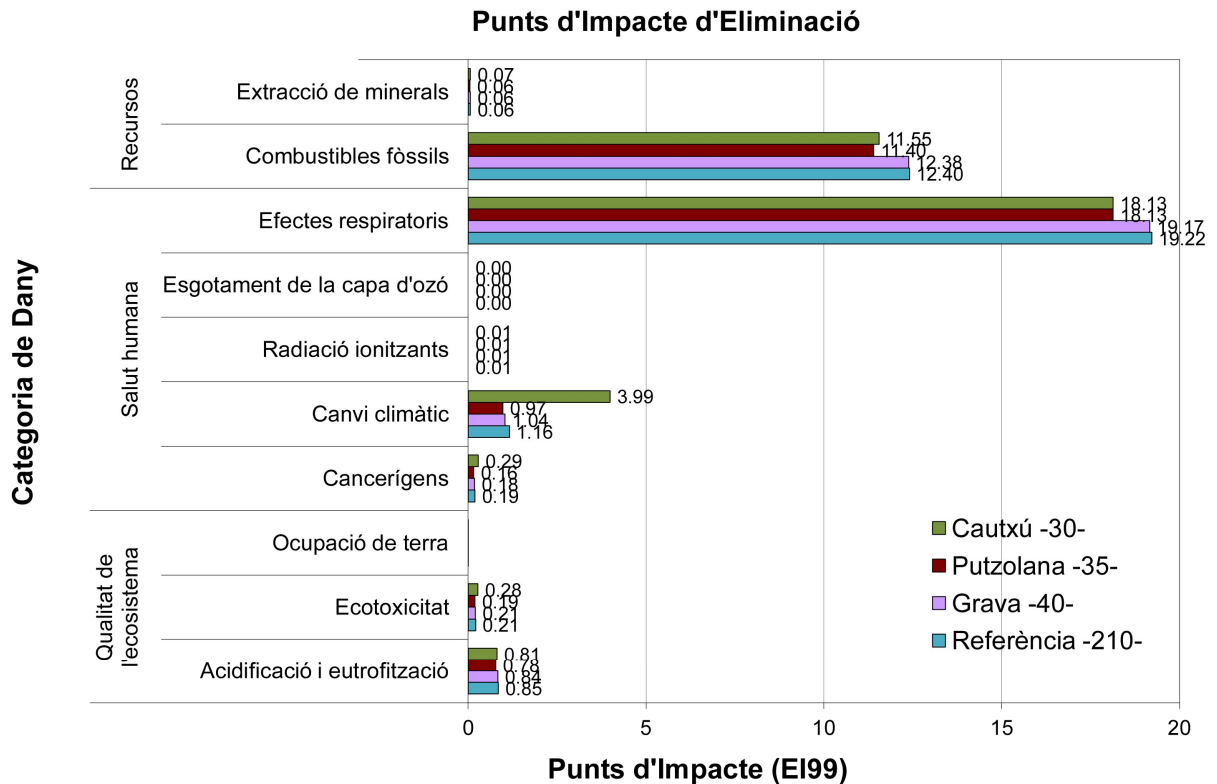
La disposició dels maons i el formigó són la principal causa de l'alt impacte en els efectes respiratoris i els combustibles fòssils per a tots els cubicles analitzats.

En considerar l'impacte de l'eliminació, tots els cubicles aconsegueixen resultats similars amb petites diferències entre ells. Es pot comprovar numèricament amb la Taula 14:

Categoria de dany	Factors d'impacte	Coberta convencional		Coberta vegetada	
		Referència -210-	Grava -40-	Putzolana -35-	Cautxú -30-
<i>Qualitat de l'ecosistema</i>	Acidificació i eutrofització	0.85	0.84	0.78	0.81
	Ecotoxicitat	0.21	0.21	0.19	0.28
	Ocupació de terra	-0.42	-0.42	-0.38	-0.37
<i>Salut humana</i>	Cancerígens	0.19	0.18	0.16	0.29
	Canvi climàtic	1.16	1.04	0.97	3.99
	Radiació ionitzants	0.01	0.01	0.01	0.01
	Esgotament de la capa d'ozó	0.00	0.00	0.00	0.00
	Efectes respiratoris	19.22	19.17	18.13	18.13
<i>Recursos</i>	Combustibles fòssils	12.40	12.38	11.40	11.55
	Extracció de minerals	0.06	0.06	0.06	0.07
Total		33.68	33.46	31.32	34.75

Taula 14. Resultats d'impacte durant la fase d'eliminació.

Per representar els resultats d'impacte per a cada categoria de dany d'una forma més visual i ràpida, s'introdueixen les dades en una gràfica de barres (Gràfica 4):



Gràfica 4. Representació dels punts d'impacte de les tres categories de dany considerades en la fase d'eliminació.

Considerant tots els factors d'impacte considerats en la fase d'eliminació, es pot observar els resultats tant petits que s'obté en la majoria dels factors, la majoria suposen entre un 0 % i un 3 %. En l'impacte resultant total influencien majoritàriament dos factors d'impacte: els efectes respiratoris en un 58 % i els combustibles fòssils en un 37 %.

El cubicle amb coberta vegetada amb putzolana té els punts d'impacte més baixos en la fase d'eliminació dels quatre cubicles, amb una baixa del 7% respecte al cubicle de referència.

El cubicle amb coberta vegetada amb cautxú té menor punt d'impacte en totes les categories, però l'eliminació del cautxú per a la incineració i el seu conseqüent impacte sobre el canvi climàtic condueix a assolir el major impacte mundial, 3% del cubicle de referència.

Els dos cubicles amb cobertes de referència resulten amb el mateixos valors numèrics.

Vegeu l'Annex 3. Càlculs de l'Anàlisi de Cicle de Vida, a l'apartat anomenat "Apartat IV. LCA_Fase d'eliminació"; on es troba tots els passos seguits i les taules amb els resultats dels punts d'impacte per a la fase d'eliminació de cada categoria de danys per als quatre cubicles.



8.- CONCLUSIONS

L'Anàlisi de Cicle de Vida (ACV) s'ha aplicat a dos cubicles amb cobertes vegetades i s'ha comparat amb l'ACV de dos cubicles amb coberta plana convencional.

Les construccions analitzades formen part d'una instal·lació experimental ubicada en Puigverd de Lleida, amb clima mediterrani continental.

Els quatre cubicles tenen el mateix volum, orientació i façana, però amb diferents sistemes constructius de coberta, dos cobertes planes convencionals, amb aïllament de poliuretà (cubicle amb sostre de referència – 210) i sense aïllament (cubicle amb sostre de grava – 40), i dues cobertes verdes sense aïllament, però amb la capa de drenatge diferent, grava volcànica putzolana (cubicle amb coberta vegetada amb putzolana – 30) i cautxú reciclat procedent de pneumàtics fora d'ús, encenalls de cautxú (cubicle amb coberta vegetada amb cautxú – 35).

Una solució constructiva que intervé en aquest projecte, encara que no es estudiada per al ACV, és el comportament de les façanes vegetades com sistemes passius d'estalvi energètic en els edificis amb un clima mediterrani continental.

S'ha analitzat el seu comportament durant l'estiu de 2011, amb una cobertura de la façana sud d'aproximadament el 50% d'un cubicle experimental, i durant l'hivern de 2012 amb una cobertura vegetada de façana del 100%.

La solució constructiva estudiada en aquest projecte és l'aplicació de cobertes vegetades als sostres de dos edificis amb l'única diferència entre elles en el tipus de drenatge, grava putzolana o cautxú reciclat, en un clima mediterrani continental.

El seu comportament s'ha avaluat experimentalment amb un punt de referència del sistema de climatització de 24 °C.

En general, el sistema de cobertes verdes extensives té un alt potencial per estalviar energia durant l'estiu en el clima mediterrani continental. Tot i que, els experiments es van realitzar amb el 20% de cobertura total de les plantes a la coberta, s'ha pogut observar un bon efecte d'aïllament en comparació amb les solucions constructives tradicionals.

A més, l'ús d'encenalls de cautxú reciclats, com a material per a la capa de drenatge en les cobertes vegetades, té un comportament similar a la coberta de grava volcànica putzolana.

En aquest anàlisi s'han comparat els punts d'impacte de la fabricació, funcionament i eliminació per a cada categoria dels danys.

La fase operativa s'ha obtingut a partir de dades reals mesurades dels edificis experimentals, tenint en compte els consums d'energia de calefacció i refrigeració a la temporada d'hivern i d'estiu, respectivament.

Els punts d'impacte de la fase de fabricació ha aconseguit resultats molt similars entre el cubicle de referència, de putzolana, i de grava. L'impacte del cubicle amb grava (40) va ser lleugerament menor que el del cubicle de referència (210) a causa de la falta de



poliuretà. En contrast, l' impacte del cubicle de cautxú (35) és un 52% superior al del cubicle de referència. Aquest resultat es deu a la manca d'indicadors en EI99 per considerar el benefici mediambiental de l'ús de cautxú reciclat.

Els punts d'impacte totals ha mostrat que l' impacte de la fase de funcionament és crucial en l' impacte global de les quatre solucions constructives.

Les mesures de consum d'energia han revelat que els cubicles amb cobertes vegetades, sense aïllament i només amb 4 cm de capa de drenatge i 5 cm de substrat, suposen una millora de l'estalvi d'energia, i en conseqüència també els seus punts d'impacte de la fase de funcionament, el 7% en comparació amb un sostre convencional sense aïllament.

Per tant, els punts d'impacte totals de les cobertes vegetades són un 7% inferior que el sostre de grava. En comparació amb el cubicle de referència, amb aïllament de poliuretà al sostre, s'han trobat diferències significatives entre el consum d'energia a l'estiu i a l'hivern. Els cubicles amb la solució de cobertes vegetades han millorat la relació d'estalvi d'energia a l'estiu a l'edifici de referència, però no en condicions hivernals. Comparant els dos edificis de sostres verds, no hi va haver diferències significatives en els punts d'impacte operatius.

En l'anàlisi de l' impacte de la fase d'eliminació, el cubicle amb coberta vegetada amb putzolana aconsegueix els millors resultats, amb punts d'impacte del 7% inferior als de referència, mentre que del cubicle amb coberta vegetada amb cautxú té punts d'impacte del 3% superior. Els quatre cubicles obtenen un resultat molt similar en aquesta fase d'eliminació.

Com a conclusió, les dues cobertes vegetades amb diferents capes de drenatge, putzolana i cautxú, permeten tenir inferior consum d'energia respecte a una coberta convencional a l'estiu, el 15% i 4% respectivament. Els dos cubicles amb diferent tipus de drenatge tenen punts d'impacte similars en la fase funcional, però la grava volcànica putzolana té un menor impacte que el cautxú reciclat en la fase d'eliminació. Tanmateix, la millora de recuperar un material de rebuig, com ara el cautxú reciclat no és encara considerat en els punts d'impacte de fabricació proposats per EI99.

Els resultats obtinguts en aquest Anàlisi de Cicle de Vida corresponen a un escenari pitjor dels casos proposats. Es requereix el desenvolupament de nous indicadors de EI99 que reconeguin els avantatges en la utilització com a recurs del que és ara un material de rebuig. El reciclatge del cautxú aconseguirà una reducció significativa al seu impacte de fabricació en el moment en què s'investigui en el futur aquest material com a una bona opció com a material de drenatge en cobertes i es consideri un material estàndard i utilitzat en la construcció i així desenvolupar els seus propis eco-indicadors.

En el futur, quan s'hagi investigat aquests materials reutilitzables com a material de drenatge, es podrà concloure que el cubicle amb coberta vegetada amb cautxú té el menor impacte possible pel seu mètode de fabricació del material. Aquest cubicle és una bona alternativa com a innovadora solució constructiva en edificis, sobretot en períodes d'estiu.

Com a segona opció de millora de solucions constructives, es pot considerar el cubicle amb coberta vegetada amb putzolana ja que sempre obté baixos valors d'impacte en cada una de les fases estudiades de cicle de vida.



Finalment, la pitjor opció de construcció és el cubicle amb coberta plana convencional amb grava ja que resulta ser el cubicle amb major resultat d'impacte en la fase de funcionament, i per tant, en els resultats d'impacte generals.